



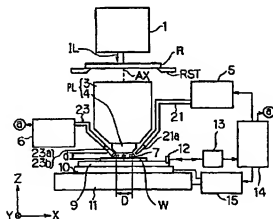
PCT

特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(51) 国際特許分類6 H01L 21/027, G03F 7/20		A1	(11) 国際公開番号 WO99/49504
			(43) 国際公開日 1999年9月30日(30.09.99)
(21) 国際出願番号 PCT/JP99/01262			
(22) 国際出願日 1999年3月16日(16.03.99)			
(30) 優先権データ 特願平10/79263 1998年3月26日(26.03.98)	JP		(81) 指定国 AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), ARIPO特許 (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, UG, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM)
(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 株式会社 ニコン(NIKON CORPORATION)[JP/JP] 〒100-8331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 富士ビル Tokyo, (JP)		添付公開書類 国際調査報告書	
(72) 発明者; および (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ) 深海義雄(FUKAMI, Yoshio)[JP/JP] 馬込伸貴(MAGOME, Nobutaka)[JP/JP] 〒100-8331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 富士ビル 株式会社 ニコン 知的財産部内 Tokyo, (JP)			
(74) 代理人 弁理士 大森 聡(OMORI, Satoshi) 〒214-0014 神奈川県川崎市多摩区登戸2075番2-501 大森特許事務所 Kanagawa, (JP)			

(54) Title: PROJECTION EXPOSURE METHOD AND SYSTEM

(54) 発明の名称 投影露光方法及び装置



(57) Abstract

A projection exposure method capable of keeping a liquid (7) filled between a projection optical system (PL) and a wafer (W) even while the wafer (W) is being moved when a liquid immersion method is used to conduct an exposure, wherein a discharge nozzle (21a) and inflow nozzles (23a, 23b) are disposed so as to hold a lens (4) at the tip end of the projection optical system (PL) in an X direction. When the wafer (W) is moved in a -X direction by an XY stage (10), a liquid (7) controlled to a preset temperature is supplied from a liquid supply device (5) via a supply pipe (21) and the discharge nozzle (21a) so as to fill the portion between the lens (4) and the surface of the wafer (W) and the liquid (7) is recovered from the surface of the wafer (W) by a recovery pipe (23) and the inflow nozzles (23a, 23b), the supply amount and recovery amount of the liquid (7) being regulated according to a moving speed of the wafer (W).

液浸法を適用して露光を行う場合に、ウエハ(W)を移動させている間も投影光学系(PL)とウエハ(W)との間に液体(7)を満たし続けることができる投影露光方法である。投影光学系(PL)の先端部のレンズ(4)をX方向に挟むように排出ノズル(21a)と流入ノズル(23a, 23b)とを配置する。XYステージ(10)によってウエハ(W)を-X方向に移動させる際に、液体供給装置(5)より供給管(21)及び排出ノズル(21a)を介して所定の温度に調整された液体(7)をレンズ(4)とウエハ(W)表面との間を満たすように供給し、液体供給装置(6)により回収管(23)及び流入ノズル(23a, 23b)を介してウエハ(W)上から液体(7)を回収する。ウエハ(W)の移動速度に応じて液体(7)の供給量及び回収量の調整を行う。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を特定するために使用されるコード(参考情報)

AE アラブ首長国連邦	DM ドミニカ	KZ カザフスタン	RU ロシア
AL アルバニア	EE エストニア	LC セントルシア	SD スーダン
AM アルメニア	ES スペイン	LI リヒテンシュタイン	SE スウェーデン
AT オーストリア	FI フィンランド	LK スリランカ	SG シンガポール
AU オーストラリア	FR フランス	LR リベリア	SI スロヴェニア
AZ アゼルバイジャン	GA ガボン	LS レソト	SK スロヴァキア
BA ボスニア・ヘルツェゴビナ	GB 英国	LT リトアニア	SL シェラ・レオネ
BB バルバドス	GD グレナダ	LL ルクセンブルグ	SN セネガル
BE ベルギー	GE ジョージア	LV ラトヴィア	SZ スワジランド
BF ブルキナ・ファソ	GM ギニア	MA モロッコ	TD チャド
BG ブルガリア	GN ギニア・ビサウ	MC モナコ	TG トーゴ
BJ ベナン	GR ギリシャ	MD モルドヴァ	TJ タジキスタン
BR ブラジル	GW ギニア・ビサウ	MG マダガスカル	TZ タンザニア
BY ベラルーシ	HR クロアチア	MK マケドニア	TM トルクメニスタン
CA カナダ	HU ハンガリー	NE ナイジェリア	TR トルコ
CF 中央アフリカ	ID インドネシア	MR モーリタニア	TT トリニダード・トバゴ
CG コンゴ	IE アイルランド	MW マラウイ	UA ウクライナ
CH スイス	IL イスラエル	MX メキシコ	UG ウガンダ
CI コートジボアール	IN インド	NE ニジェール	US 米国
CM カメルーン	IS アイスランド	NL オランダ	UZ ウズベキスタン
CN 中国	IT イタリア	NO ノルウェー	VN ヴェトナム
CU キューバ	JP 日本	NZ ニュージーランド	YU ユーゴスラビア
CY キプロス	KE ケニア	PL ポーランド	ZA 南アフリカ共和国
CZ チェコ	KG キルギスタン	PT ポルトガル	ZW ジンバブエ
DE ドイツ	KR 韓国	RO ルーマニア	
DK デンマーク			

## 明 細 書

## 投影露光方法及び装置

## 5 技術分野

本発明は、例えば、半導体素子、撮像素子（ＣＣＤ等）、液晶表示素子、又は薄膜磁気ヘッド等のデバイスを製造するためのリソグラフィ工程でマスクパターンを感光性の基板上に転写するために用いられる投影露光方法、及び装置に関し、更に詳しくは液浸法を用いた投影露光方法及び装置に関する。

## 背景技術

半導体素子等を製造する際に、マスクとしてのレチクルのパターンの像を投影光学系を介して、感光性の基板としてのレジストが塗布されたウエハ（又はガラスプレート等）上の各ショット領域に転写する投影露光装置が使用されている。従来は投影露光装置として、ステップ・アンド・リピート方式の縮小投影型の露光装置（ステッパ）が多用されていたが、最近ではレチクルとウエハとを同期走査して露光を行うステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置も注目されている。

投影露光装置に備えられている投影光学系の解像度は、使用する露光波長が短くなるほど、また投影光学系の開口数が高いほど高くなる。そのため、集積回路の微細化に伴い投影露光装置で使用される露光波長は年々短波長化しており、投影光学系の開口数も増大してきている。そして、現在主流の露光波長は、ＫｒＦエキシマレーザの２４８ｎｍであるが、更に短波長のＡｒＦエキシマレーザの１９３ｎｍも実用化されつつある。

また、露光を行う際には、解像度と同様に焦点深度(DOF)も重要となる。解像度R、及び焦点深度 $\delta$ はそれぞれ以下の式で表される。

$$R = k_1 \cdot \lambda / NA \quad (1)$$

$$\delta = k_2 \cdot \lambda / NA^2 \quad (2)$$

- 5       ここで、 $\lambda$ は露光波長、NAは投影光学系の開口数、 $k_1$ 、 $k_2$ はプロセス係数である。(1)式、(2)式より、解像度Rを高めるために、露光波長 $\lambda$ を短くして、開口数NAを大きくすると、焦点深度 $\delta$ が狭くなることが分かる。従来より投影露光装置では、オートフォーカス方式でウエハの表面を投影光学系の像面に合わせ込んで露光を行っているが、
- 10       そのためには焦点深度 $\delta$ はある程度広いことが望ましい。そこで、従来も位相シフトレチクル法、変形照明法、多層レジスト法など、実質的に焦点深度を広くする提案がなされている。

- 上記の如く従来の投影露光装置では、露光光の短波長化、及び投影光学系の開口数の増大によって、焦点深度が狭くなってきている。そして、
- 15       半導体集積回路の一層の高集積化に対応するために、露光波長の更なる短波長も研究されており、このままでは焦点深度が狭くなり過ぎて、露光動作時のマージンが不足する恐れがある。

- そこで、実質的に露光波長を短くして、かつ焦点深度を広くする方法として、液浸法が提案されている。これは、投影光学系の下面とウエハ
- 20       表面との間を水、又は有機溶媒等の液体で満たし、液体中での露光光の波長が、空気中の $1/n$ 倍( $n$ は液体の屈折率で通常1.2~1.6程度)になることを利用して解像度を向上すると共に、焦点深度を約 $n$ 倍に拡大するというものである。

- この液浸法を、ステップ・アンド・リピート方式の投影露光装置に単
- 25       に適用するものとする、1つのショット領域の露光を終了した後、次のショット領域にウエハをステップ移動する際に、投影光学系とウエハ

との間から液体が出てしまうため、再び液体を供給しなければならず、また、液体の回収も困難になるという不都合がある。また、液浸法を仮にステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置に適用する場合、ウエハを移動させながら露光を行うため、ウエハを移動させている間も投影光学系とウエハの間には液体が満たされている必要がある。

本発明は斯かる点に鑑み、液浸法を適用した場合に、投影光学系とウエハとが相対移動しても、投影光学系とウエハとの間に液体を安定に満たしておくことができる投影露光方法を提供することを目的とする。また、本発明はそのような投影露光方法を実施できる投影露光装置、この投影露光装置の効率的な製造方法、及びそのような投影露光方法を用いた高機能のデバイスの製造方法を提供することを目的とする。

#### 発明の開示

本発明による第1の投影露光方法は、露光ビームでマスク（R）を照  
明し、そのマスク（R）のパターンを投影光学系（PL）を介して基板  
（W）上に転写する投影露光方法において、その基板（W）を所定方向  
に沿って移動させる際に、その投影光学系（PL）のその基板（W）側  
の光学素子（4）の先端部とその基板（W）の表面との間を満たすよう  
に、その基板（W）の移動方向に沿って所定の液体（7）を流すように  
したものである。

斯かる本発明の第1の投影露光方法によれば、液浸法が適用されて、  
投影光学系（PL）の先端部と基板（W）との間がその液体で満たされ  
るため、基板表面における露光光の波長を空気中における波長の $1/n$   
倍（ $n$ は液体の屈折率）に短波長化でき、更に焦点深度は空気中に比べ  
て約 $n$ 倍に広がる。また、その基板を所定方向に沿って移動させる際に、  
その基板の移動方向に沿ってその液体を流すため、基板を移動させる際

にも、その投影光学系の先端部とその基板の表面との間はその液体により満たされる。また、その基板上に異物が付着している場合には、その基板上に付着している異物をその液体で流し去ることができる。

次に、本発明による第1の投影露光装置は、露光ビームでマスク（R）を照明し、そのマスク（R）のパターンを投影光学系（PL）を介して基板（W）上に転写する投影露光装置において、その基板（W）を保持して移動させる基板ステージ（9，10）と、その投影光学系（PL）のその基板（W）側の光学素子（4）の先端部とその基板（W）の表面との間を満たすように、供給用の配管（21a）を介して所定方向に沿って所定の液体（7）を供給する液体供給装置（5）と、その供給用の配管（21a）と共にその所定方向にその露光ビームの照射領域を挟むように配置された排出用の配管（23a，23b）を介してその基板（W）の表面からその液体（7）を回収する液体回収装置（6）とを有し、その基板ステージ（9，10）を駆動してその基板（W）をその所定方向に沿って移動させる際に、その液体（7）の供給及び回収を行うものである。

斯かる本発明の第1の投影露光装置によれば、それらの配管を用いることによって本発明の第1の投影露光方法を実施することができる。

また、その1対の供給用の配管（21a）及び排出用の配管（23a，23b）を実質的に180°回転した配置の第2の1対の供給用の配管（22a）、及び排出用の配管（24a，24b）を設けることが望ましい。この場合、基板（W）をその所定の方向と反対の方向に移動する際には、後者の1対の配管を用いることで、その投影光学系（PL）の先端部とその基板（W）の表面との間をその液体（7）により安定に満たし続けることができる。

また、その投影露光装置はマスク（R）と基板（W）とをその投影光

5 学系（PL）に対して同期移動して露光を行う走査露光型である場合、その所定方向は走査露光時のその基板（W）の走査方向であることが望ましい。この場合、走査露光中も継続してその投影光学系（PL）のその基板（W）側の光学素子（4）の先端部とその基板（W）の表面との間をその液体（7）により満たし続けることができ、高精度かつ安定に露光を行うことができる。

また、その所定方向に直交する方向に、その1対の供給用の配管（21 a）及び排出用の配管（23 a, 23 b）に対応する配置で1対、又は2対の供給用の配管（27 a）、及び排出用の配管（29 a, 29 b）  
10 を設けることが望ましい。この場合、基板（W）をその所定の方向に直交する方向にステップ移動させる際にも、その投影光学系（PL）の先端部とその基板（W）の表面との間をその液体（7）により満たし続けることができる。

また、その基板ステージの移動速度に応じてその液体（7）の供給量、  
15 及び回収量を調整する制御系（14）を有することが望ましい。即ち、例えばその移動速度が速いときにはその供給量を増加させて、その移動速度が遅いときにはその供給量を少なくすることで、その液体を無駄なくその投影光学系（PL）の先端部とその基板（W）の表面との間に一定に満たしておくことができる。

20 また、その基板（W）の表面に供給されるその液体（7）は、一例として所定の温度に調整された純水、又はフッ素系不活性液体である。この場合、純水は例えば半導体製造工場ではその入手が容易であり、環境的にも問題がない。また、その液体（7）が温度調整されているため、基板表面の温度調整を行うことができ、露光中に生じる熱による基板  
25 （W）の熱膨張を防ぐことができる。その液体は露光ビームに対する透過率が高い方が望ましいのは当然であるが、透過率が低い場合でも、投

影光学系の作動距離は短いため、露光ビームの吸収量は極めて少ない。

次に、本発明による投影露光装置の製造方法は、露光ビームをマスク (R) に照射する照明系 (1) と、そのマスクのパターンの像を基板 (W) 上に転写する投影光学系 (PL) と、その基板 (W) を保持して移動させる基板ステージ (9, 10) と、その投影光学系 (PL) のその基板 (W) 側の光学素子 (4) の先端部とその基板 (W) の表面との間を満たすように、供給用の配管 (21a) を介して所定方向に沿って所定の液体 (7) を供給する液体供給装置 (5) と、その供給用の配管 (21a) と共にその所定方向にその露光ビームの照射領域 (4) を挟むように配置された排出用の配管 (23a, 23b) を介してその基板 (W) の表面からその液体 (7) を回収する液体回収装置 (6) とを所定の位置関係で組み上げて投影露光装置を製造するものである。

また、本発明による第1のデバイスの製造方法は、本発明の第1の投影露光方法を用いたデバイスの製造方法であって、露光ビームでマスク (R) を照明し、そのマスク (R) のパターンを投影光学系 (PL) を介してそのデバイス用の基板 (W) 上に転写する露光工程を含み、この露光工程において基板 (W) を所定方向に沿って移動させる際に、その投影光学系 (PL) のその基板 (W) 側の光学素子 (4) の先端部とその基板 (W) の表面との間を満たすように、その基板 (W) の移動方向に沿って所定の液体 (7) を流すようにしたものであり、液浸法が適用されて、高機能のデバイスを製造することができる。

次に、本発明による第2の投影露光方法は、露光ビームでマスク (R) を照明し、投影光学系 (PL) を介してその露光ビームで基板 (W) を露光する投影露光方法において、その投影光学系とその基板との間を満たすように液体 (7) を流すとともに、その基板の移動方向に応じてその液体を流す方向を変化させるものである。



斯かる本発明の第2の投影露光方法によれば、液浸法が適用されて、投影光学系（PL）と基板（W）との間がその液体で満たされるため、基板表面における露光光の波長を空气中における波長の $1/n$ 倍（ $n$ は液体の屈折率）に短波長化でき、更に焦点深度は空气中に比べて約 $n$ 倍に広がる。また、その基板の移動方向に応じてその液体を流す方向を変化させることにより、その基板の移動方向が頻繁に変化する場合であっても、その投影光学系とその基板との間にその液体を満たしておくことができる。

また、その液体（7）の供給速度をその基板の移動方向の第1成分と、その移動方向に直交する第2成分とに分けたとき、その第1成分がその基板（W）の移動方向と逆向きのときは所定の許容値以下の大きさとなるようにその液体（7）を流すことが望ましい。これによって、その基板（W）の移動方向と逆向きの液体の速度成分が小さくなるため、液体を円滑に供給できる。

また、その基板（W）の移動方向にほぼ沿って同じ向きにその液体（7）を流すことがより望ましい。

また、その基板（W）がステップ・アンド・リピート方式又はステップ・アンド・スキャン方式で露光される場合には、その基板（W）のステッピング方向にほぼ沿ってその液体（7）を流すことが望ましい。

また、その露光ビームに対してそのマスク（R）とその基板（W）とをそれぞれ相対移動して、その露光ビームでその基板を走査露光するとともに、その走査露光中、その基板の走査方向にほぼ沿ってその液体（7）を流すことが望ましい。

また、その基板（W）の移動速度に応じてその液体（7）の流量を調整することが望ましい。

次に、本発明による第2のデバイスの製造方法は、本発明の第2の投

影露光方法を用いて、デバイスパターンを基板（W）上に転写する工程を有するリソグラフィ工程を含むものであり、液浸法が適用されて、高機能のデバイスを製造することができる。

次に、本発明による第2の投影露光装置は、露光ビームでマスク（R）を照明し、投影光学系（PL）を介してその露光ビームで基板（W）上に露光する投影露光装置において、その投影光学系とその基板との間を満たすように液体（7）を流すとともに、その基板の移動方向に応じてその液体を流す方向を変化させる液体供給装置（5）を備えたものである。

斯かる本発明の第2の投影露光装置によれば、本発明の第2の投影露光方法を実施することができ、その基板の移動方向が頻繁に変化する場合であっても、その投影光学系とその基板との間にその液体を満たしておくことができる。

また、その露光ビームに対してそのマスク（R）とその基板（W）とをそれぞれ相対移動するステージ・システム（RST, 9～11）を更に備え、その液体供給装置（5）は、その基板の走査露光中、その基板の移動方向にほぼ沿ってその液体（7）を流すことが望ましい。

また、その投影光学系（PL）とその基板（W）との間に供給された液体（7）を回収する液体回収装置（6）を更に備えることが望ましい。

また、その液体供給装置（5）の供給口（21a）とその液体回収装置（6）の回収口（23a, 23b）とはその露光ビームの照射領域を挟んで配置されることが望ましい。

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明の第1の実施の形態において使用される投影露光装置の概略構成を示す図である。図2は、図1の投影光学系PLのレンズ4

の先端部 4 A と X 方向用の排出ノズル及び流入ノズルとの位置関係を示す図である。図 3 は、図 1 の投影光学系 P L のレンズ 4 の先端部 4 A と、Y 方向から液体の供給及び回収を行う排出ノズル及び流入ノズルとの位置関係を示す図である。図 4 は、図 1 のレンズ 4 とウエハ W との間への液体 7 の供給及び回収の様子を示す要部の拡大図である。図 5 は、本発明の第 2 の実施の形態において使用される投影露光装置の投影光学系 P L A の下端部、液体供給装置 5、及び液体回収装置 6 等を示す正面図である。図 6 は、図 5 の投影光学系 P L A のレンズ 3 2 の先端部 3 2 A と X 方向用の排出ノズル及び流入ノズルとの位置関係を示す図である。図 7 は、図 5 の投影光学系 P L A のレンズ 3 2 の先端部 3 2 A と、Y 方向から液体の供給及び回収を行う排出ノズル及び流入ノズルとの位置関係を示す図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の好適な実施の形態の一例につき図 1 ～ 図 4 を参照して説明する。本例は本発明をステップ・アンド・リピート方式の投影露光装置で露光を行う場合に適用したものである。

図 1 は本例の投影露光装置の概略構成を示し、この図 1 において、露光光源としての K r F エキシマレーザ光源、オブティカル・インテグレータ（ホモジナイザー）、視野絞り、コンデンサレンズ等を含む照明光学系 1 から射出された波長 2 4 8 n m の紫外パルス光よりなる露光光 I L は、レチクル R に設けられたパターンを照明する。レチクル R のパターンは、両側（又はウエハ W 側に片側）テレセントリックな投影光学系 P L を介して所定の投影倍率  $\beta$ （ $\beta$  は例えば  $1/4$ 、 $1/5$  等）でフォトレジストが塗布されたウエハ W 上の露光領域に縮小投影される。なお、露光光 I L としては、A r F エキシマレーザ光（波長 1 9 3 n m）、F

2 レーザ光（波長157nm）や水銀ランプのi線（波長365nm）等を使用してもよい。以下、投影光学系PLの光軸AXに平行にZ軸を取り、Z軸に垂直な平面内で図1の紙面に垂直にY軸を取り、図1の紙面に平行にX軸を取って説明する。

5 レチクルRはレチクルステージRST上に保持され、レチクルステージRSTにはX方向、Y方向、回転方向にレチクルRを微動する機構が組み込まれている。レチクルステージRSTの2次元的位置、及び回転角はレーザ干渉計（不図示）によってリアルタイムに計測され、この計測値に基づいて主制御系14がレチクルRの位置決めを行う。

10 一方、ウエハWはウエハホルダ（不図示）を介してウエハWのフォーカス位置（Z方向の位置）及び傾斜角を制御するZステージ9上に固定されている。Zステージ9は投影光学系PLの像面と実質的に平行なXY平面に沿って移動するXYステージ10上に固定され、XYステージ10はベース11上に載置されている。Zステージ9は、ウエハWのフォーカス位置（Z方向の位置）、及び傾斜角を制御してウエハW上の表面をオートフォーカス方式、及びオートレベリング方式で投影光学系PLの像面に合わせ込み、XYステージ10はウエハWのX方向、及びY方向の位置決めを行う。Zステージ9（ウエハW）の2次元的位置、及び回転角は、移動鏡12の位置としてレーザ干渉計13によってリアルタイムに計測されている。この計測結果に基づいて主制御系14から  
20 ウエハステージ駆動系15に制御情報が送られ、これに基づいてウエハステージ駆動系15は、Zステージ9、XYステージ10の動作を制御する。露光時にはウエハW上の各ショット領域を順次露光位置にステップ移動し、レチクルRのパターン像を露光する動作がステップ・アンド  
25 ・リピート方式で繰り返される。

さて、本例では露光波長を実質的に短くして解像度を向上すると共に、

焦点深度は実質的に広くするために、液浸法を適用する。そのため、少なくともレチクルRのパターン像をウエハW上に転写している間は、ウエハWの表面と投影光学系PLのウエハ側のレンズ4の先端面（下面）との間に所定の液体7を満たしておく。投影光学系PLは、他の光学系を収納する鏡筒3と、そのレンズ4とを有しており、レンズ4のみに液体7が接触するように構成されている。これによって、金属よりなる鏡筒3の腐食等が防止されている。

なお、投影光学系PLは、レンズ4を含む複数の光学素子からなり、レンズ4は鏡筒3の最下部に着脱（交換）自在に固定されている。本例では、ウエハWに最も近い、即ち液体7と接触する光学素子をレンズとしているが、その光学素子はレンズに限られるものではなく、投影光学系PLの光学特性、例えば収差（球面収差、コマ収差等）の調整に用いる光学プレート（平行平板等）であってもよい。また、露光光の照射によってレジストから発生する飛散粒子、又は液体7中の不純物の付着等に起因して液体7に接触する光学素子の表面が汚れるため、その光学素子を定期的に交換する必要がある。しかしながら、液体7に接触する光学素子がレンズであると、その交換部品のコストが高く、かつ交換に要する時間が長くなってしまい、メンテナンスコスト（ランニングコスト）の上昇やスループットの低下を招く。そこで液体7と接触する光学素子を、例えばレンズ4よりも安価な平行平板とするようにしてもよい。この場合、投影露光装置の運搬、組立、調整時等において投影光学系PLの透過率、ウエハW上での露光光の照度、及び照度分布の均一性等を低下させる物質（例えばシリコン系有機物等）がその平行平板に付着しても、液体7を供給する直前にその平行平板を交換するだけでよく、液体7と接触する光学素子をレンズとする場合に比べてその交換コストが低くなるという利点もある。

また、液体7として、本例では例えば純水を使用する。純水は、半導体製造工場等で容易に大量に入手できると共に、ウエハ上のフォトリソストや光学レンズ等に対する悪影響がない利点がある。また、純水は環境に対する悪影響がないと共に、不純物の含有量が極めて低いため、ウエハの表面、及びレンズ4の表面を洗浄する作用も期待できる。

そして、波長が250nm程度の露光光に対する純水(水)の屈折率 $n$ はほぼ1.4であるため、KrFエキシマレーザ光の波長248nmは、ウエハW上では $1/n$ 、即ち約177nmに短波長化されて高い解像度が得られる。更に、焦点深度は空气中に比べて約 $n$ 倍、即ち約1.4倍に拡大されるため、空气中で使用する場合と同程度の焦点深度が確保できればよい場合には、投影光学系PLの開口数をより増加させることができ、この点でも解像度が向上する。

その液体7は、その液体のタンク、加圧ポンプ、温度制御装置等からなる液体供給装置5によって、所定の排出ノズル等を介してウエハW上に温度制御された状態で供給され、その液体のタンク及び吸引ポンプ等からなる液体回収装置6によって、所定の流入ノズル等を介してウエハW上から回収される。液体7の温度は、例えば本例の投影露光装置が収納されているチャンバ内の温度と同程度に設定されている。そして、投影光学系PLのレンズ4の先端部をX方向に挟むように先端部が細くなった排出ノズル21a、及び先端部が広がった2つの流入ノズル23a、23b(図2参照)が配置されており、排出ノズル21aは供給管21を介して液体供給装置5に接続され、流入ノズル23a、23bは回収管23を介して液体回収装置6に接続されている。更に、その1対の排出ノズル21a、及び流入ノズル23a、23bをほぼ180°回転した配置の1対のノズル、及びそのレンズ4の先端部をY方向に挟むように配置された2対の排出ノズル、及び流入ノズルも配置されている。

図2は、図1の投影光学系PLのレンズ4の先端部4A及びウエハWと、その先端部4AをX方向に挟む2対の排出ノズル及び流入ノズルとの位置関係を示し、この図2において、先端部4Aの+X方向側に排出ノズル21aが、-X方向側に流入ノズル23a、23bがそれぞれ配置されている。また、流入ノズル23a、23bは先端部4Aの中心を通りX軸に平行な軸に対して扇状に開いた形で配置されている。そして、1対の排出ノズル21a、及び流入ノズル23a、23bをほぼ180°回転した配置で別の1対の排出ノズル22a、及び流入ノズル24a、24bが配置され、排出ノズル22aは供給管22を介して液体供給装置5に接続され、流入ノズル24a、24bは回収管24を介して液体回収装置6に接続されている。

また、図3は、図1の投影光学系PLのレンズ4の先端部4Aと、その先端部4AをY方向に挟む2対の排出ノズル及び流入ノズルとの位置関係を示し、この図3において、先端部4Aの+Y方向側に排出ノズル27aが、-Y方向側に流入ノズル29a、29bがそれぞれ配置され、排出ノズル27aは供給管27を介して液体供給装置5に接続され、流入ノズル29a、29bは回収管29を介して液体回収装置6に接続されている。また、1対の排出ノズル27a、及び流入ノズル29a、29bをほぼ180°回転した配置で別の1対の排出ノズル28a、及び流入ノズル30a、30bが配置され、排出ノズル28aは供給管28を介して液体供給装置5に接続され、流入ノズル30a、30bは回収管30を介して液体回収装置6に接続されている。液体供給装置5は、供給管21、22、27、28の少なくとも一つを介してレンズ4の先端部4AとウエハWとの間に温度制御された液体を供給し、液体回収装置6は回収管23、24、29、30の少なくとも一つを介してその液体を回収する。

次に、液体 7 の供給及び回収方法について説明する。

図 2 において、実線で示す矢印 2 5 A の方向（ $-X$  方向）にウエハ W をステップ移動させる際には、液体供給装置 5 は、供給管 2 1、及び排出ノズル 2 1 a を介してレンズ 4 の先端部 4 A とウエハ W との間に液体 7 を供給する。そして、液体回収装置 6 は、回収管 2 3 及び流入ノズル 2 3 a、2 3 b を介してウエハ W 上から液体 7 を回収する。このとき、液体 7 はウエハ W 上に矢印 2 5 B の方向（ $-X$  方向）に流れており、ウエハ W とレンズ 4 との間は液体 7 により安定に満たされる。

一方、2 点鎖線で示す矢印 2 6 A の方向（ $+X$  方向）にウエハ W をステップ移動させる際には、液体供給装置 5 は供給管 2 2、及び排出ノズル 2 2 a を使用してレンズ 4 の先端部 4 A とウエハ W との間に液体 7 を供給し、液体回収装置 6 は回収管 2 4 及び流入ノズル 2 4 a、2 4 b を使用して液体 7 を回収する。このとき、液体 7 はウエハ W 上に矢印 2 6 B の方向（ $+X$  方向）に流れており、ウエハ W とレンズ 4 との間は液体 7 により満たされる。このように、本例の投影露光装置では、 $X$  方向に互いに反転した 2 対の排出ノズルと流入ノズルとを設けているため、ウエハ W を  $+X$  方向、又は  $-X$  方向のどちらに移動する場合にも、ウエハ W とレンズ 4 との間を液体 7 により安定に満たし続けることができる。

また、液体 7 がウエハ W 上を流れるため、ウエハ W 上に異物（レジストからの飛散粒子を含む）が付着している場合であっても、その異物を液体 7 により流し去ることができるという利点がある。また、液体 7 は液体供給装置 5 により所定の温度に調整されているため、ウエハ W 表面の温度調整が行われて、露光の際に生じる熱によるウエハの熱膨張による重ね合わせ精度等の低下を防ぐことができる。従って、EGA（エンハンスト・グローバル・アライメント）方式のアライメントのように、アライメントと露光とに時間差のある場合であっても、ウエハの熱膨張



により重ね合わせ精度が低下してしまうことを防ぐことができる。また、本例の投影露光装置では、ウエハWを移動させる方向と同じ方向に液体7が流れているため、異物や熱を吸収した液体をレンズ4の先端部4Aの直下の露光領域上に滞留させることなく回収することができる。

- 5       また、ウエハWをY方向にステップ移動させる際にはY方向から液体7の供給及び回収を行う。

即ち、図3において実線で示す矢印31Aの方向（-Y方向）にウエハをステップ移動させる際には、液体供給装置5は供給管27、排出ノズル27aを介して液体を供給し、液体回収装置6は回収管29及び流入ノズル29a、29bを使用して液体の回収を行ない、液体はレンズ4の先端部4Aの直下の露光領域上に矢印31Bの方向（-Y方向）に流れる。また、ウエハを+Y方向にステップ移動させる際には、供給管28、排出ノズル28a、回収管30及び流入ノズル30a、30bを使用して液体の供給及び回収が行われ、液体は先端部4Aの直下の露光領域上を+Y方向に流れる。これにより、ウエハWをX方向に移動する場合と同様に、ウエハWを+Y方向、又は-Y方向のどちらに移動する場合であっても、ウエハWとレンズ4の先端部4Aとの間を液体7により満たすことができる。

- 15       なお、X方向、又はY方向から液体7の供給及び回収を行うノズルだけでなく、例えば斜めの方向から液体7の供給及び回収を行うためのノズルを設けてもよい。

次に、液体7の供給量、及び回収量の制御方法について説明する。

- 図4は、投影光学系PLのレンズ4とウエハWとの間への液体7の供給及び回収の様子を示し、この図4において、ウエハWは矢印25Aの方向（-X方向）に移動しており、排出ノズル21aより供給された液体7は、矢印25Bの方向（-X方向）に流れ、流入ノズル23a、2

3 bにより回収される。レンズ4とウエハWとの間に存在する液体7の量をウエハWの移動中でも一定に保つため、本例では液体7の供給量 $V_i$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ )と回収量 $V_o$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ )とを等しくし、また、XYステージ10 (ウエハW)の移動速度 $v$ に比例するように液体7の供給量 $V_i$ 、及び回収量 $V_o$ を調整する。即ち、主制御系14は液体7の供給量 $V_i$ 、及び回収量 $V_o$ を、以下の式により決定する。

$$V_i = V_o = D \cdot v \cdot d \quad (3)$$

ここで、図1に示すようにDはレンズ4の先端部の直径 (m)、 $v$ はXYステージ10の移動速度 ( $\text{m}/\text{s}$ )、 $d$ は投影光学系PLの作動距離 (ワーキング・ディスタンス) (m)である。XYステージ10をステップ移動するときの速度 $v$ は、主制御系14により設定されるものであり、D及び $d$ は予め入力されているため、(3)式に基づいて液体7の供給量 $V_i$ 、及び回収量 $V_o$ を調整することで、図4のレンズ4とウエハWとの間には液体7が常時満たされる。

なお、投影光学系PLの作動距離 $d$ は、投影光学系PLとウエハWとの間に液体7を安定して存在させるためには、できるだけ狭くすることが望ましい。しかしながら、作動距離 $d$ が小さ過ぎるとウエハWの表面がレンズ4に接触する恐れがあるため、或る程度の余裕を持つ必要がある。そこで、作動距離 $d$ は、一例として2 mm程度に設定される。このように作動距離 $d$ は短いため、液体7の露光光に対する透過率が或る程度低くとも、露光光の吸収量は極めて少ない。

次に、本発明の第2の実施の形態につき図5～図7を参照して説明する。本例は、本発明をステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置で露光する場合に適用したものである。

図5は、本例の投影露光装置の投影光学系PLAの下部、液体供給装置5、及び液体回収装置6等を示す正面図であり、この図4に対応する

部分に同一符号を付して示す図5において、投影光学系PLAの鏡筒3Aの最下端のレンズ32は、先端部32Aが走査露光に必要な部分だけを残してY方向（非走査方向）に細長い矩形に削られている。走査露光時には、先端部32Aの直下の矩形の露光領域にレチクルの一部のパターン像が投影され、投影光学系PLAに対して、レチクル（不図示）が-X方向（又は+X方向）に速度Vで移動するのに同期して、XYステージ10を介してウエハWが+X方向（又は-X方向）に速度 $\beta \cdot V$ （ $\beta$ は投影倍率）で移動する。そして、1つのショット領域への露光終了後に、ウエハWのステッピングによって次のショット領域が走査開始位置に移動し、以下ステップ・アンド・スキャン方式で各ショット領域への露光が順次行われる。

本例においても走査露光中は液浸法の適用によって、レンズ32とウエハWの表面との間に液体7が満たされる。液体7の供給及び回収はそれぞれ液体供給装置5及び液体回収装置6によって行われる。

図6は、投影光学系PLAのレンズ32の先端部32Aと液体7をX方向に供給、回収するための排出ノズル及び流入ノズルとの位置関係を示し、この図6において、レンズ32の先端部32Aの形状はY方向に細長い矩形になっており、投影光学系PLAのレンズ32の先端部32AをX方向に挟むように+X方向側に3個の排出ノズル21a～21cが配置され、-X方向側に2個の流入ノズル23a、23bが配置されている。

そして、排出ノズル21a～21cは供給管21を介して液体供給装置5に接続され、流入ノズル23a、23bは回収管23を介して液体回収装置6に接続されている。また、排出ノズル21a～21cと流入ノズル23a、23bとをほぼ $180^\circ$ 回転した配置に、排出ノズル22a～22cと流入ノズル24a、24bとを配置している。排出ノズ

- ル 2 1 a ~ 2 1 c と流入ノズル 2 4 a, 2 4 b とは Y 方向に交互に配列され、排出ノズル 2 2 a ~ 2 2 c と流入ノズル 2 3 a, 2 3 b とは Y 方向に交互に配列され、排出ノズル 2 2 a ~ 2 2 c は供給管 2 2 を介して液体供給装置 5 に接続され、流入ノズル 2 4 a, 2 4 b は回収管 2 4 を介して液体回収装置 6 に接続されている。

- そして、実線の矢印で示す走査方向（-X 方向）にウエハ W を移動させて走査露光を行う場合には、供給管 2 1、排出ノズル 2 1 a ~ 2 1 c、回収管 2 3、及び流入ノズル 2 3 a, 2 3 b を使用して液体供給装置 5 及び液体回収装置 6 によって液体 7 の供給及び回収を行い、レンズ 3 2 とウエハ W との間を満たすように -X 方向に液体 7 を流す。また、2 点鎖線の矢印で示す方向（+X 方向）にウエハ W を移動させて走査露光を行う場合には、供給管 2 2、排出ノズル 2 2 a ~ 2 2 c、回収管 2 4、及び流入ノズル 2 4 a, 2 4 b を使用して液体 7 の供給及び回収を行い、レンズ 3 2 とウエハ W との間を満たすように +X 方向に液体 7 を流す。
- 走査方向に応じて液体 7 を流す方向を切り換えることにより、+X 方向、又は -X 方向のどちらの方向にウエハ W を走査する場合にも、レンズ 3 2 の先端部 3 2 A とウエハ W との間を液体 7 により満たすことができ、高い解像度及び広い焦点深度が得られる。

- また、液体 7 の供給量  $V_i$  ( $m^3 / s$ )、及び回収量  $V_o$  ( $m^3 / s$ ) は、以下の式により決定する。

$$V_i = V_o = D_{sv} \cdot v \cdot d \quad (4)$$

ここで、 $D_{sv}$  はレンズ 3 2 の先端部 3 2 A の X 方向の長さ (m) である。これによって走査露光中においてもレンズ 3 2 とウエハ W との間を液体 7 により安定に満たすことができる。

- なお、ノズルの数や形状は特に限定されるものでなく、例えば先端部 3 2 A の長辺について 2 対のノズルで液体 7 の供給又は回収を行うよう

にしてもよい。なお、この場合には、+X方向、又は-X方向のどちらの方向からも液体7の供給及び回収を行うことができるようにするため、排出ノズルと流入ノズルとを上下に並べて配置してもよい。

また、ウエハWをY方向にステップ移動させる際には、第1の実施の形態と同様に、Y方向から液体7の供給及び回収を行う。

図7は、投影光学系PLAのレンズ32の先端部32AとY方向用の排出ノズル及び流入ノズルとの位置関係を示し、この図7において、ウエハを走査方向に直交する非走査方向(-Y方向)にステップ移動させる場合には、Y方向に配列された排出ノズル27a、及び流入ノズル29a、29bを使用して液体7の供給及び回収を行い、また、ウエハを+Y方向にステップ移動させる場合には、Y方向に配列された排出ノズル28a、及び流入ノズル30a、30bを使用して液体7の供給及び回収を行う。また、液体7の供給量 $V_i$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ )、及び回収量 $V_o$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ )は、以下の式により決定する。

$$V_i = V_o = D_{sx} \cdot v \cdot d \quad (5)$$

ここで、 $D_{sx}$ はレンズ32の先端部32AのY方向の長さ(m)である。第1の実施例と同様に、Y方向にステップ移動させる際にもウエハWの移動速度 $v$ に応じて液体7の供給量を調整することにより、レンズ32とウエハWとの間を液体7により満たし続けることができる。

以上のようにウエハWを移動させる際には、その移動方向に応じた方向に液体を流すことにより、ウエハWと投影光学系PLの先端部との間を液体7により満たし続けることができる。

なお、上記の実施の形態において液体7として使用される液体は特に純水に限定されるものではなく、露光光に対する透過性があるだけで屈折率が高く、また、投影光学系やウエハ表面に塗布されているフォトリジストに対して安定なもの(例えばセダー油等)を使用すること

ができる。

また、液体 7 としては、化学的に安定で、即ち露光光に対する透過率が高く安全な液体であるフッ素系不活性液体を使用してもよい。このフッ素系不活性液体としては、例えばフロリナート（米国スリーエム社の商品名）が使用できる。このフッ素系不活性液体は冷却効果の点でも優れている。

また、前述の各実施の形態で回収された液体 7 を再利用するようにしてもよく、この場合は回収された液体 7 から不純物を除去するフィルタを液体回収装置、又は回収管等に設けておくことが望ましい。

さらに、液体 7 を流す範囲はレチクルのパターン像の投影領域（露光光の照射領域）の全域を覆うように設定されていればよく、その大きさは任意でよいが、流速、流量等を制御する上で、前述の各実施の形態のように露光領域よりも少し大きくしてその範囲をできる限り小さくしておくことが望ましい。なお、供給される液体を流入ノズルで全て回収することは困難であるため、2 ステージ上から液体が溢れないように、例えばウエハを囲んで隔壁を形成し、その隔壁内の液体を回収する配管を更に設けておくことが望ましい。

また、前述の各実施の形態ではウエハ W（XY ステージ 10）の移動方向に沿って液体 7 を流すものとしたが、液体 7 を流す方向はその移動方向に一致している必要はない。即ち、液体 7 を流す方向はその移動方向と交差していてもよく、例えばウエハ W を +X 方向に移動するときは、液体 7 の -X 方向の速度成分が零、ないしは所定の許容値以下となる方向に沿って液体 7 を流せばよい。これにより、ステップ・アンド・リピート方式、又はステップ・アンド・スキャン方式（共にステップ・アンド・スティッチ方式を含む）でウエハを露光するときに、その移動方向が短時間（例えば数百 ms 程度）で頻繁に変化しても、それに追従して

流体を流す方向を制御し、投影光学系とウエハとの間に液体を満たしておくことができる。また、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置では、ショット領域間でのウエハの移動においてXYステージの走査方向及び非走査方向の速度成分が共に零とならないように、即ち1つのショット領域間の走査露光終了後であってXYステージの減速中（走査方向の速度成分が零となる前）にXYステージのステッピング（非走査方向への移動）を開始し、そのステッピングが終了する前（非走査方向の速度成分が零となる前であって、例えばXYステージの減速中）に、次のショット領域を走査露光するためにXYステージの加速を開始するようにXYステージの移動を制御する。このような場合でも、ウエハの移動方向に応じて流体を流す方向を制御し、投影光学系とウエハとの間に液体を満たしておくことができる。

なお、本例の投影露光装置の用途としては半導体製造用の投影露光装置に限定されることなく、例えば、角型のガラスプレートに液晶表示素子パターンを露光する液晶用の投影露光装置や、薄膜磁気ヘッドを製造するための投影露光装置にも広く適用できる。

また、半導体素子等を製造するデバイス製造用の露光装置で使用するレチクル又はマスクを、例えば遠紫外光若しくは真空紫外光を用いる露光装置で製造することがあり、前述の各実施の形態の投影露光装置はレチクル又はマスクを製造するフォトリソグラフィ工程においても好適に使用することができる。

さらに、露光用照明光としてのDFB半導体レーザ又はファイバレーザから発振される赤外域又は可視域の単一波長レーザを、例えばエルビウム（Er）（又はエルビウムとイッテルビウム（Yb）の両方）がドープされたファイバーアンプで増幅し、かつ非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を用いてもよい。

また投影光学系 PL は屈折系、反射系及び反射屈折系の何れでもよい。反射屈折系としては、例えば米国特許第 5 7 8 8 2 2 9 号に開示されているように、複数の屈折光学素子と 2 つの反射光学素子（少なくとも一方は凹面鏡）とを、折り曲げられることなく一直線に延びる光軸上に配置した光学系を用いることができる。この米国特許に開示された反射屈折系を有する露光装置では、ウエハに最も近い、即ち液体と接触する光学素子は反射光学素子となる。なお、本国際出願で指定した指定国、又は選択した選択国の国内法令の許す限りにおいてこの米国特許の開示を援用して本文の記載の一部とする。

また、複数のレンズから構成される照明光学系、投影光学系を露光装置本体に組み込み光学調整をすると共に、多数の機械部品からなるレチクルステージやウエハステージを露光装置本体に取り付けて配線や配管を接続し、液体の供給及び回収を行うための配管（供給管、排出ノズル等）を設置して、更に総合調整（電気調整、動作確認等）をすることにより本実施の形態の投影露光装置を製造することができる。なお、投影露光装置の製造は温度及びクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

そして、半導体デバイスは、デバイスの機能・性能設計を行うステップ、このステップに基づいたレチクルを製造するステップ、シリコン材料からウエハを制作するステップ、前述した実施の形態の投影露光装置によりレチクルのパターンをウエハに露光するステップ、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む）、検査ステップ等を経て製造される。

なお、本発明は上述の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得る。更に、明細書、特許請求の範囲、図面、及び要約を含む、1998年3月26日付提出の日本国特許出願



第10-79263号の全ての開示内容は、そっくりそのまま引用してここに組み込まれている。

#### 産業上の利用の可能性

- 5       本発明の第1又は第2の投影露光方法によれば、液浸法を使用しているため、マスクのパターン像の焦点深度を空気中における焦点深度の約  $n$  倍（ $n$ は使用する液体の屈折率）に拡大でき、微細なパターンを安定に高い解像度で転写することができる。従って、高集積度の半導体デバイス等を高い歩留りで量産できる。また、その基板を所定方向に沿って
- 10       移動させる際に、その投影光学系のその基板側の光学素子の先端部とその基板の表面との間を満たすように、その基板の移動方向に沿ってその液体を流すため、基板を移動させる際にも、その投影光学系の先端部とその基板の表面との間はその液体により満たされて、液浸法が使用できる。また、その基板上に異物が付着している場合には、その基板上に付
- 15       着している異物を流し去ることができ、最終製品の歩留りの向上を図ることができるという利点がある。

- 次に、本発明の第1又は第2の投影露光装置によれば、本発明の第1又は第2投影露光方法を実施することができる。また、その基板ステージの移動速度に応じてその液体の供給量、及び回収量（流量）を調整する場合には、そのステージの移動速度が変化しても投影光学系の先端部
- 20       と基板の表面との間に存在するその液体の量を一定に保つことができる。

## 請 求 の 範 囲

1. 露光ビームでマスクを照明し、前記マスクのパターンを投影光学系を介して基板上に転写する投影露光方法において、

- 5      前記基板を所定方向に沿って移動させる際に、前記投影光学系の前記基板側の光学素子の先端部と前記基板の表面との間を満たすように、前記基板の移動方向に沿って所定の液体を流すことを特徴とする投影露光方法。

2. 露光ビームでマスクを照明し、前記マスクのパターンを投影光学系を介して基板上に転写する投影露光装置において、

- 10      前記基板を保持して移動させる基板ステージと、前記投影光学系の前記基板側の光学素子の先端部と前記基板の表面との間を満たすように、供給用の配管を介して所定方向に沿って所定の液体を供給する液体供給装置と、前記供給用の配管と共に前記所定方向に前記露光ビームの照射領域を拭むように配置された排出用の配管を介して前記基板の表面から  
15      前記液体を回収する液体回収装置と、を有し、

前記基板ステージを駆動して前記基板を前記所定方向に沿って移動させる際に、前記液体の供給及び回収を行うことを特徴とする投影露光装置。

- 20      3. 請求の範囲 2 記載の投影露光装置であって、

前記 1 対の供給用の配管及び排出用の配管を実質的に  $180^\circ$  回転した配置の第 2 の 1 対の供給用の配管、及び排出用の配管を設けたことを特徴とする投影露光装置。

4. 請求の範囲 2、又は 3 記載の投影露光装置であって、

- 25      前記投影露光装置はマスクと基板とを前記投影光学系に対して同期移動して露光を行う走査露光型であり、前記所定方向は走査露光時の前記

基板の走査方向であることを特徴とする投影露光装置。

5. 請求の範囲 2、3、又は 4 記載の投影露光装置であって、

前記所定方向に直交する方向に、前記 1 対の供給用の配管及び排出用の配管に対応する配置で 1 対、又は互いに反転した 2 対の供給用の配管、及び排出用の配管を設けたことを特徴とする投影露光装置。

6. 請求の範囲 2～5 の何れか一項記載の投影露光装置であって、

前記基板ステージの移動速度に応じて前記液体の供給量、及び回収量を調整する制御系を有することを特徴とする投影露光装置。

7. 請求の範囲 2～6 の何れか一項記載の投影露光装置であって、

前記基板の表面に供給される前記液体は所定の温度に調整された純水、又はフッ素系不活性液体であることを特徴とする投影露光装置。

8. 露光ビームをマスクに照射する照明系と、前記マスクのパターンの像を基板上に転写する投影光学系と、前記基板を保持して移動させる基板ステージと、前記投影光学系の前記基板側の光学素子の先端部と前記基板の表面との間を満たすように、供給用の配管を介して所定方向に沿って所定の液体を供給する液体供給装置と、前記供給用の配管と共に前記所定方向に前記露光ビームの照射領域を挟むように配置された排出用の配管を介して前記基板の表面から前記液体を回収する液体回収装置とを所定の位置関係で組み上げることを特徴とする投影露光装置の製造方法。

9. 請求の範囲 1 記載の投影露光方法を用いたデバイスの製造方法であって、露光ビームでマスクを照明し、前記マスクのパターンを投影光学系を介して基板上に転写する露光工程を含み、該露光工程において、前記基板を所定方向に沿って移動させる際に、前記投影光学系の前記基板側の光学素子の先端部と前記基板の表面との間を満たすように、前記基板の移動方向に沿って所定の液体を流すことを特徴とするデバイスの製

造方法。

10. 露光ビームでマスクを照明し、投影光学系を介して前記露光ビームで基板を露光する投影露光方法において、

- 5 前記投影光学系と前記基板との間を満たすように液体を流すとともに、  
前記基板の移動方向に応じて前記液体を流す方向を変化させることを特徴とする投影露光方法。

11. 請求の範囲10記載の投影露光方法であって、

- 10 前記液体の供給速度を前記基板の移動方向の第1成分と、該移動方向に直交する第2成分とに分けたとき、前記第1成分が前記基板の移動方向と逆方向のときは所定の許容値以下の大きさとなるように前記液体を流すことを特徴とする投影露光方法。

12. 請求の範囲10記載の投影露光方法であって、

前記基板の移動方向にほぼ沿って同じ向きに前記液体を流すことを特徴とする投影露光方法。

- 15 13. 請求の範囲12記載の投影露光方法であって、

前記基板はステップ・アンド・リピート方式又はステップ・アンド・スキャン方式で露光され、前記基板のステッピング方向にほぼ沿って前記液体を流すことを特徴とする投影露光方法。

14. 請求の範囲12又は13記載の投影露光方法であって、

- 20 前記露光ビームに対して前記マスクと前記基板とをそれぞれ相対移動して、前記露光ビームで前記基板を走査露光するとともに、前記走査露光中、前記基板の走査方向にほぼ沿って前記液体を流すことを特徴とする投影露光方法。

15. 請求の範囲10～14の何れか一項記載の投影露光方法であって、

- 25 前記基板の移動速度に応じて前記液体の流量を調整することを特徴とする投影露光方法。

16. 請求の範囲10～15の何れか一項記載の投影露光方法を用いて、デバイスパターンを基板上に転写する工程を有するリソグラフィ工程を含むことを特徴とするデバイスの製造方法。

5 17. 露光ビームでマスクを照明し、投影光学系を介して前記露光ビームで基板上に転写する投影露光装置において、

前記投影光学系と前記基板との間を満たすように液体を流すとともに、前記基板の移動方向に応じて前記液体を流す方向を変化させる液体供給装置を備えたことを特徴とする投影露光方法。

18. 請求の範囲17記載の投影露光装置であって、

10 前記液体の供給速度を前記基板の移動方向の第1成分と該移動方向に直交する第2成分とに分けたとき、前記液体供給装置は、前記第1成分が前記基板の移動方向と逆方向であるときは所定の許容値以下の大きさとなるように前記液体を流すことを特徴とする投影露光装置。

19. 請求の範囲18記載の投影露光装置であって、

15 前記基板はステップ・アンド・リピート方式又はステップ・アンド・スキャン方式で露光され、前記液体供給装置は、前記基板のステッピング方向にほぼ沿って前記液体を流すことを特徴とする投影露光装置。

20. 請求の範囲17～19の何れか一項記載の投影露光装置であって、

20 前記露光ビームに対して前記マスクと前記基板とをそれぞれ相対移動するステージ・システムを更に備え、前記液体供給装置は、前記基板の走査露光中、前記基板の移動方向にほぼ沿って前記液体を流すことを特徴とする投影露光装置。

21. 請求の範囲17～20の何れか一項記載の投影露光装置であって、

25 前記投影光学系と前記基板との間に供給された液体を回収する液体回収装置を更に備えることを特徴とする投影露光装置。

22. 請求の範囲21記載の投影露光装置であって、

前記液体供給装置の供給口と前記液体回収装置の回収口とは前記露光ビームの照射領域を挟んで配置されることを特徴とする投影露光装置。

5

10

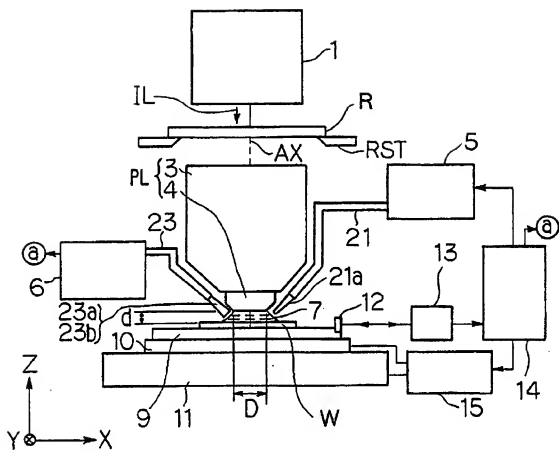
15

20

25

1/4

図 1



2/4

図 2

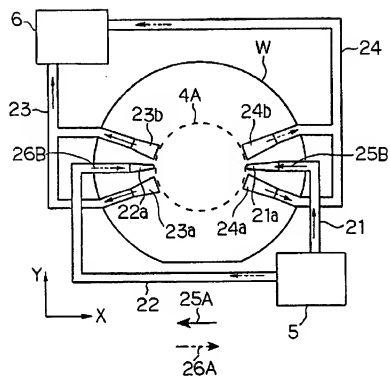


図 3

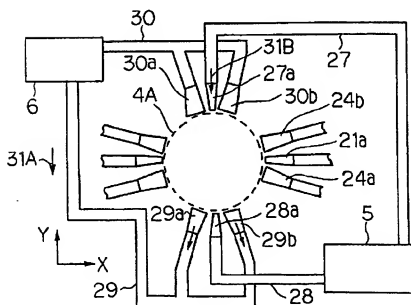






図 6

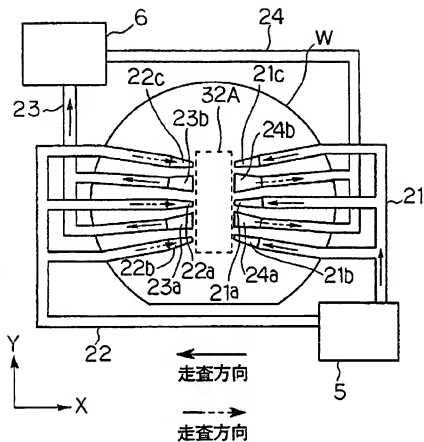
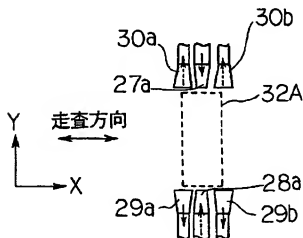


図 7



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/01262

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.<sup>4</sup> H01L21/027, G03F7/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.<sup>4</sup> H01L21/027, G03F7/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1999

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1999 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-1999

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP, 57-153433, A (Hitachi, Ltd.), 22 September, 1982 (22. 09. 82), Page 2, upper right column, line 5 to lower left column, line 1 & EP, 60729, A & CA, 1159160, A & US, 4480910, A & DE, 3272511, G	1-22
A	JP, 62-65326, A (Hitachi, Ltd.), 24 March, 1987 (24. 03. 87), Page 3, upper left column, line 7 to lower left column, line 17 (Family: none)	1-22
A	JP, 6-124873, A (Canon Inc.), 6 May, 1994 (06. 05. 94), Page 4, right column, line 28 to page 5, right column, line 46 (Family: none)	1-22
A	JP, 7-220990, A (Hitachi, Ltd.), 18 August, 1995 (18. 08. 95), Page 3, left column, line 50 to page 4, left column, line 14 (Family: none)	1-22

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:  
 "A" document defining the general state of the art which is not  
 considered to be of particular relevance  
 "E" earlier document but published on or after the international filing date  
 document which may throw doubts on priority claim(s) or which is  
 cited to establish the publication date of another claim or other  
 special reason (as specified)  
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other  
 means  
 "P" document published prior to the international filing date but later than  
 the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority  
 date and not in conflict with the application but cited to understand  
 the principle or theory underlying the invention  
 "X" document of particular relevance: the claimed invention cannot be  
 considered novel or cannot be considered to involve an inventive step  
 when the document is taken alone  
 "Y" document of particular relevance: the claimed invention cannot be  
 considered to involve an inventive step when the document is  
 combined with one or more other such documents, such combination  
 being obvious to a person skilled in the art  
 "Z" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
7 June, 1999 (07. 06. 99)Date of mailing of the international search report  
15 June, 1999 (15. 06. 99)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/01262

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, A	JP, 10-255319, A (Hitachi Maxell, Ltd.), 25 September, 1998 (25. 09. 98), Page 4, left column, line 11 to page 5, right column, line 36 (Family: none)	1-22
P, A	JP, 10-303114, A (Nikon Corp.), 13 November, 1998 (13. 11. 98), Page 3, right column, line 42 to page 7, right column, line 3 (Family: none)	1-22
P, A	JP, 10-340846, A (Nikon Corp.), 22 December, 1998 (22. 12. 98), Page 3, right column, line 32 to page 4, left column, line 44 (Family: none)	1-22

## 国際調査報告

国際出願番号 PCT/J P99/01262

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl<sup>1</sup> H01L21/027, G03F7/20

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl<sup>1</sup> H01L21/027, G03F7/20

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
日本国公開実用新案公報 1971-1999年  
日本国登録実用新案公報 1994-1999年  
日本国実用新案登録公報 1996-1999年

国際調査で利用した電子データベース (データベースの名称、調査に利用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリ*	引用文献名、及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P, 57-153433, A (株式会社日立製作所) 22. 9月. 1982 (22. 09. 82) 第2頁右上欄5行-左下欄1行 & E P, 607229, A & C A, 1159160, A & U S, 4480910, A & D E, 3272511, G	1-22
A	J P, 62-65326, A (株式会社日立製作所) 24. 3月. 1987 (24. 03. 87) 第3頁左上欄7行-左下欄17行 (ファミリーなし)	1-22

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

- \* 引用文献のカテゴリ
- 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの
- 「E」 国際出願日以前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
- 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
- 「O」 口頭による開示、使用、展承等に資する文献
- 「P」 国際出願日以前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日以後に公表された文献
- 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
- 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
- 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
- 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

07. 06. 99

国際調査報告の発送日

15.06.99

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区幾野三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

岩本 勉

2M

9710

電話番号 03-3581-1101 内線 3274

様式 PCT/ISA/210 (第2ページ) (1998年7月)

C (続き). 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一節の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P, 6-124873, A (キャノン株式会社) 6. 5月. 1994 (06. 05. 94) 第4頁右欄28行-第5頁右欄46行 (ファミリーなし)	1-22
A	J P, 7-220990, A (株式会社日立製作所) 18. 8月. 1995 (18. 08. 95) 第3頁左欄50行-第4頁左欄14行 (ファミリーなし)	1-22
P, A	J P, 10-255319, A (日立マクセル株式会社) 25. 9月. 1998 (25. 09. 98) 第4頁左欄11行-第5頁右欄36行 (ファミリーなし)	1-22
P, A	J P, 10-303114, A (株式会社ニコン) 13. 11月. 1998 (13. 11. 98) 第3頁右欄42行-第7頁右欄3行 (ファミリーなし)	1-22
P, A	J P, 10-340846, A (株式会社ニコン) 22. 12月. 1998 (22. 12. 98) 第3頁右欄32行-第4頁左欄44行 (ファミリーなし)	1-22

51	International Patent Category 6	
	H01L 21/027, G03F 7/20	
11	International Laid Open Number	WO 99/49504
43	International Laid Open Date	9/30/1999
21	International Application Number	PCT/JP99/01262
22	International Date of Application	3/16/1999
30	Priority Right Data	JP H10/79263 3/26/1998
71	Applicant in all the designated countries excluding the United States	Nikon Corporation
72	Inventor; and	
75	Inventor/Applicant Only in the United States	Yoshio Fukami
		Nobutaka Magome
74	Agent	Satoshi Omori
81	Designated Countries	AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PI, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW, European Patent AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, OAPI Patent BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG, ARIPO Patent GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, UG, ZW, Eurasia Patent AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM
	Attached Laid Open Document	International Investigation Report

54 PROJECTION EXOSURE METHOD AND SYSTEM

It is a projection exposure method capable of keeping a liquid 7 filled between a projection optical system PL and a wafer W even while wafer W is being moved when a liquid immersion method is used to perform an exposure. A discharge nozzle 21a and inflow nozzles 23a and 23b are disposed in the manner that a lens 4 at the end of projection optical system PL is held between them in the X direction. When wafer W is moved in the negative X-direction by an XY stage 10, liquid 7 controlled to a predetermined temperature is supplied from a liquid supply device 5 via a supply pipe 21 as well as discharge nozzle 21a so as to fill the space between lens 4 and the surface of wafer W, and liquid 7 is recovered from the surface of wafer W by a liquid supply device 6 via a recovery pipe 23 as well as inflow nozzles 23a and 23b. The supply volume and recovery volume of liquid 7 is regulated according to a moving speed of wafer W.



## Specification

### Projection Exposure Method and Apparatus

#### Field of Technology

The present invention relates to a projection exposure method and apparatus used for transferring a mask pattern onto a photosensitive substrate in the lithography process for manufacturing devices such as a semiconductor device, imaging device such as CCD, liquid crystal display device or a thin film magnetic head, and more specifically relates to a projection exposure method and apparatus using a liquid immersion method.

#### Background Technology

When manufacturing a semiconductor device, etc., a projection exposure apparatus, wherein a pattern on a reticle as a mask is transferred onto each shot area on a wafer (or a glass plate, etc.) as a photosensitive substrate coated with a resist, is used. Conventionally, a step-and-repeat method reduction projection type exposure apparatus (stepper) has been in heavy usage as a projection exposure apparatus, but recently, a step-and-scan method projection exposure apparatus that performs an exposure by synchronously scanning a reticle and a wafer has been attracting attention as well.

The shorter the operating exposure wavelength is, and the greater the numerical aperture of a projection optical system is, the higher the resolution of the projection optical system equipped in a projection exposure apparatus becomes. Therefore, the exposure wavelength used in a projection exposure apparatus is getting shorter every year to accompany the miniaturization of an integrated circuit, and the numerical aperture of a projection optical system is also increasing. And although the current mainstream exposure wavelength is 248nm of KrF excimer laser, a further shorter wavelength of 193nm of ArF excimer laser is also about to be put to practical use.

Furthermore, when performing an exposure, a depth of focus (DOF) becomes as important as a resolution. A resolution  $R$  and a depth of focus  $\delta$  can be expressed with the following equations, respectively.

$$R = k_1 \cdot \lambda / NA \quad 1$$

$$\delta = k_2 \cdot \lambda / NA^2 \quad 2$$

Here,  $\lambda$  is an exposure wavelength,  $NA$  is a numerical aperture of a projection optical system,  $k_1$  and  $k_2$  are process coefficients. From Equation 1 and Equation 2, it is evident that depth of focus  $\delta$  becomes narrower if exposure wavelength  $\lambda$  is shortened and numerical aperture  $NA$  is increased in order to increase resolution  $R$ . Conventionally, in a projection exposure apparatus, an auto focus method is used to align a wafer surface to an image plane of a projection optical system to perform an exposure, and for that, it would be preferable if depth of focus  $\delta$  is wide to some extent. Therefore, proposals to essentially widen the depth of focus, such as the phase shift reticle method, deformable resolution enhancement technique, multi-layer resist method, etc, have been made in the past.

As described above, in a conventional projection exposure apparatus, the depth of focus has been narrowed by the shortening of the exposure light wavelength and the increase in the numerical aperture of the projection optical system. And in order to accommodate further integration of a semiconductor integrated circuit, researches are being conducted to further shorten the exposure wavelength, and with the way things are going, the depth of focus could become so narrow that the margin for an exposure motion may no longer be sufficient.

Therefore, a liquid immersion method has been proposed as a method to essentially shorten the exposure wavelength as well as widen the depth of focus. The idea is to fill the space between the bottom surface of a projection optical system and the wafer surface with either water or an organic solvent, etc., and by taking advantage of the fact that the

exposure beam wavelength in a liquid becomes  $1/n$  ( $n$  is a refractive index of a liquid, which is normally somewhere between 1.2 to 1.6) of that in air, the depth of focus is increased by about a factor of  $n$  while improving the resolution.

If this liquid immersion method is merely applied to a step-and-repeat type projection exposure apparatus, it would be inconvenient because, after an exposure of one shot area is finished, when moving a wafer in steps to the next shot area, a liquid will come out from between the projection optical system and the wafer, so the liquid needs to be supplied again, and the recovery of the liquid would also be difficult. Also, if the liquid immersion method is applied to the step-and-scan type projection exposure apparatus, since an exposure is performed while moving a wafer, it is necessary to keep the space between the projection optical system and the wafer filled even while the wafer is being moved.

In light of these points, the purpose of the present invention is to provide a projection exposure apparatus capable of stably keeping the space between a projection optical system and a wafer filled even when the projection optical system and the wafer are relatively moving when the liquid immersion method is applied. Furthermore, another purpose of the present invention is to provide a projection exposure apparatus capable of implementing such projection exposure method, an efficient manufacturing method of such projection exposure apparatus and a method for manufacturing a highly functional device using such projection exposure method.

#### Disclosure of the Invention

The first projection exposure method according to the present invention is such that, in the projection exposure method wherein a mask R is irradiated with an exposure beam, and a pattern on mask R is transferred onto a substrate W through a projection optical system PL, when substrate W is being moved along a predetermined direction, a predetermined liquid 7 is passed along the direction of the motion of substrate W so as to

fill the space between the end of optical element 4 on the substrate W side of projection optical system PL and the surface of substrate W.

According to such first projection exposure method of the present invention, because a liquid immersion method is applied and the space between the end of projection optical system PL and substrate W is filled with the liquid, the wavelength of the exposure beam on the substrate surface can be shortened to  $1/n$  ( $n$  is a refractive index of the liquid) of that in air, and also, the depth of focus will be increased by about a factor of  $n$  relative to the one in air. Also, when moving the substrate along the predetermined direction, because the liquid is passed along the direction of the motion of the substrate, even when the substrate is being moved, the space between the end of the projection optical system and the surface of the substrate is filled with the liquid. Also, if any particles have adhered to the substrate, such particles that have adhered on the substrate can be flushed out with the liquid.

Next, the first projection exposure apparatus according to the present invention is such that, in the projection exposure apparatus wherein mask R is irradiated with an exposure beam and a pattern on mask R is transferred onto substrate W through projection optical system PL, it has substrate stages 9 and 10 for holding and moving substrate W, a liquid supply device 5 for supplying predetermined liquid 7 along a predetermined direction through a supply pipe 21a so as to fill the space between the end of optical element 4 on the substrate W side of projection optical system PL and the surface of substrate W, and a liquid recovery device 6 for recovering liquid 7 from the surface of substrate W through discharge pipes 23a and 23b disposed in the manner that the exposure beam's irradiation range is put between it and supply pipe 21a along the predetermined direction; and when driving substrate stages 9 and 10 to move substrate W along the predetermined direction, it supplies and recovers liquid 7.

According to the first projection exposure apparatus of the present invention, by using these pipe arrangements, the first projection exposure method of the present invention can be implemented.

Also, it is preferable to provide a second pair of pipes for supply 22a and for discharge 24a and 24b at the location where the first pair of pipes for supply 21a and for discharge 23a and 23b would be if it were essentially rotated by 180°. In such a case, when moving substrate W in the direction opposite of a predetermined direction, by using the latter pair of pipes, the space between the end of projection optical system PL and the surface of substrate W can be stably filled with liquid 7.

Also, if the projection exposure apparatus is a scanning exposure type wherein mask R and substrate W are synchronously moved relative to projection optical system PL to perform an exposure, it is preferable if the predetermined direction is the scanning direction of substrate W during a scanning exposure. In such a case, even during a scanning exposure, the space between the end of optical element 4 on the substrate W side of projection optical system PL and the surface of substrate W can be continuously filled with liquid 7, and a high precision and stable exposure can be performed.

Also, it is preferable to provide a pair or two pairs of pipes for supply 27a and for discharge 29a and 29b in the manner corresponding to the pair of pipes for supply 21a and for discharge 23a and 23b in the direction orthogonal to the predetermined direction. In such a case, even when substrate W is moved in steps in the direction orthogonal to the predetermined direction, the space between the end of projection optical system PL and the surface of substrate W can be continuously filled with liquid 7.

Also, it is preferable to have a control system 14 for regulating the supply volume as well as recovery volume of liquid 7 in accordance with the velocity of the motion of the substrate stage. In other words, for instance, if the velocity of the motion is fast, by

increasing the supply volume, and if the velocity of the motion is slow, by decreasing the supply volume, the liquid can be maintained constant in the space between the end of projection optical system PL and the surface of substrate W.

Furthermore, liquid 7 supplied to the surface of substrate W is, as one example, purified water controlled to be at a predetermined temperature or a fluorinated inert liquid. In such a case, purified water, for example, can be easily obtained at semiconductor manufacturing plants and does not cause any environmental problem. Also, because liquid 7 is temperature-controlled, the temperature of the substrate surface can be controlled, and thereby thermal expansion of substrate W caused by heat generated during an exposure can be prevented. It is naturally preferable if the transmittance of the liquid relative to an exposure beam is high, but even when the transmittance is low, because the working distance of the projection optical system is short, the amount of the exposure beam absorbed is extremely small.

Next, the manufacturing method of the projection exposure apparatus according to the present invention is for manufacturing a projection exposure apparatus by assembling, in a predetermined positional relationship, an illumination unit 1 for irradiating an exposure beam on mask R, projection optical system PL for transferring the pattern of the mask onto substrate W, substrate stage 9 and 10 for holding and moving substrate W, liquid supply device 5 for supplying predetermined liquid 7 along a predetermined direction through pipe for supply 21a so as to fill the space between the end of optical element 4 on the substrate W side of projection optical system PL and the surface of substrate W, liquid recovery device 6 for recovering liquid 7 from the surface of substrate W through pipes for exhaust 23a and 23b disposed in the manner that irradiation area 4 of the exposure beam is put between it and supply pipe 21a in a predetermined direction.

Also, the first device manufacturing method according to the present invention is a device manufacturing method using the first projection exposure method of the present

invention, which includes an exposure process wherein mask R is irradiated with an exposure beam, and the pattern on mask R is transferred onto substrate W for a device through projection optical system R; and in this exposure process, when moving substrate W along a predetermined direction, predetermined liquid 7 is passed along the direction of the motion of substrate W so as to fill the space between the end of optical element 4 on the substrate W side of projection optical system PL and the surface of substrate W, and the application of the liquid immersion method enables a manufacturing of highly functional devices.

Next, the second projection exposure method of the present invention is such that, in a projection exposure method wherein mask R is irradiated with an exposure beam and substrate W is exposed with the exposure beam through projection optical system PL, liquid 7 is passed so as to fill the space between the projection optical system and the substrate, and the direction in which the liquid is passed is also changed in accordance with the direction of the motion of the substrate.

According to the second projection exposure method of the present invention, a liquid immersion method is applied and the space between projection optical system PL and substrate W is filled with the liquid, so the wavelength of the exposure light at the surface of the substrate can be shortened to  $1/n$  ( $n$  is a refractive index of the liquid) of the wavelength in air, and furthermore, the depth of focus can be widened by about a factor of  $n$  compared to that in air. Also, by varying the direction of the flow of the liquid in accordance with the direction of the motion of the substrate, even when the direction of the motion of the substrate changes frequently, the liquid can be filled in the space between the projection optical system and the substrate.

Also, when the supply speed of liquid 7 is divided into the first component in the direction of the motion of the substrate and the second component in the direction orthogonal to the direction of the motion, if the first component is in the opposite direction

of the moving direction of substrate W, it is preferable if liquid 7 is passed in the manner that the first component is smaller than a predetermined tolerable value. This will reduce the velocity component of the liquid in the direction opposite of the direction of the motion of substrate W, and thereby smooth the supply of the liquid.

Also, it is preferable to pass liquid 7 in the direction essentially along the direction of the motion of substrate W.

Also, when substrate W is exposed either by a step-and-repeat method or step-and-scan method, it is preferable if liquid 7 is passed in the direction almost along the stepping direction of substrate W.

Also, it is preferable if mask R and substrate W move relative to the exposure beam respectively, and in addition to scanning and exposing the substrate with the exposure beam, during the scanning exposure, liquid 7 is passed almost along the scanning direction of the substrate.

Also, it is preferable to regulate the flow rate of liquid 7 in accordance with the velocity of the motion of substrate W.

Next, the second device manufacturing method according to the present invention includes a lithography process having a process for transferring a device pattern onto substrate W using the second projection exposure method of the present invention, and a liquid immersion method is applied so that highly functional devices can be manufactured.

Next, the second projection exposure apparatus according to the present invention is such that, in a projection exposure apparatus for illuminating mask R with an exposure beam and exposing substrate W with the exposure beam through projection optical system PL, in addition to passing liquid 7 so as to fill the space between the projection optical



system and substrate, it is equipped with liquid supply device 5 for changing the direction the liquid is passed in accordance with the direction of the motion of the substrate.

With such second projection exposure apparatus of the present invention, the second projection exposure method of the present invention can be implemented, and even in the case where the direction of the motion of the substrate changes frequently, the liquid can be filled between the projection optical system and the substrate.

Also, it is preferable if it is further equipped with a stage system (RST, 9 ~ 11) for moving mask R and substrate W relative to the exposure beam respectively, and liquid supply device 5 passes liquid 7 almost along the direction of the motion of the substrate during a scanning exposure of the substrate.

Also, it is desirable if it is further equipped with liquid recovery device 6 for recovering liquid 7 supplied between projection optical system PL and substrate W.

Also, it is desirable to dispose supply port 21a of liquid supply device 5 and recovery ports 23a and 23b of liquid recovery device 6 in the manner that they put the irradiation range of the exposure beam between them.

#### Brief Explanation of Figures

Figure 1 is the schematic structure of the projection exposure apparatus used in the first embodiment of the present invention. Figure 2 is a Figure showing the positional relationship of an end 4A of lens 4 of projection optical system PL and the discharge nozzle as well as inflow nozzle for the X direction. Figure 3 is a Figure showing the positional relationship of end 4A of lens 4 of projection optical system PL in Figure 1 and the discharge nozzle and the inflow nozzle for supplying and recovering the liquid from the Y direction. Figure 4 is an enlarged view of the key part showing the way liquid 7 is supplied

to and recovered from the space between lens 4 in and wafer W in Figure 1. Figure 5 is a front view showing the bottom end of projection optical system PLA of the projection exposure apparatus used in the second embodiment of the present invention, liquid supply device 5 and liquid recovery device 6, etc. Figure 6 is a Figure showing the positional relationship of an end 32A of a lens 32 of projection optical system PLA in Figure 5 and the discharge nozzle as well as the inflow nozzle for the X direction. Figure 7 is a Figure showing the positional relationship of the discharge nozzle as well as the inflow nozzle for supplying and recovering the liquid from the Y direction.

#### Preferred Embodiments of the Invention

Following, we will explain an example of a preferred embodiment of the present invention while referring to Figures 1 through 4. This example shows when the present invention is applied when performing exposure using a step and repeat method projection exposure apparatus.

Figure 1 shows the schematic structure of the projection exposure apparatus of this example, and in Figure 1, exposure light IL consisting of wavelength 248 nm ultraviolet pulse light projected from illumination optics 1 which comprises a KrF excimer laser light source as an exposure light source, an optical integrator (homogenizer), a field stop, and a condenser lens, irradiates a pattern provided on reticle R. The pattern of reticle R undergoes reduction projection on the exposure area on wafer W which is coated with photoresist using a predetermined projection magnification  $\beta$  ( $\beta$  can be 1/4 or 1/5, for example) via a both sided (or one side on the wafer W side) telecentric projection optical system PL. As exposure light IL, it is also possible to use ArF excimer laser light (wavelength 193 nm), F<sub>2</sub> laser light (wavelength 157 nm), or i-line beam of a mercury lamp (wavelength 365 nm). Following, we will explain the Z-axis in parallel with the projection optical system PL

optical axis AX, the Y-axis perpendicular to the paper surface of Figure 1 within the plane perpendicular to the Z-axis, and the X-axis in parallel to the paper surface of Figure 1.

Reticle R is held over reticle stage RST, and a mechanism is incorporated in reticle stage RST that does fine movement of reticle R in the X direction, Y direction, and rotation direction. The two dimensional position of reticle stage RST and the rotation angle are measured in real time using a laser interferometer (not illustrated), and main control system 14 determines the position of reticle R based on these measurement values.

Meanwhile, wafer W is fixed above Z stage 9 that controls the focus position (position in the Z direction) and tilt angle of wafer W via a wafer holder (not illustrated). Z stage 9 is fixed above XY stage 10 that moves along the XY plane that is essentially parallel to the image plane of the projection optical system PL, and XY stage 10 is placed over base 11. Z stage 9 controls the wafer W focus position (position in Z direction) and tilt angle to align the surface above wafer W with the image plane of the projection optical system PL using the auto focus method and the auto leveling method, and XY stage 10 determines the position of wafer W in the X direction and the Y direction. The two-dimensional position and rotation angle of Z stage 9 (wafer W) are measured in real time by a laser interferometer 13. Control information is sent from main control system 14 to wafer stage drive system 15 based on these measurement results, and based on this, wafer stage drive system 15 controls the operation of Z stage 9 and XY stage 10. At the time of exposure, each shot area on wafer W is moved in steps in sequence on the exposure position, and the operation of exposing the pattern image of reticle R is repeated by the step-and-repeat method.

With this example, while the exposure wavelength is essentially shortened and the resolution improved, to essentially broaden the depth of focus, a liquid immersion method is used. To do this, at least during the time that the pattern image of reticle R is being transferred onto wafer W, a predetermined liquid 7 is filled between the surface of wafer W

and the end (the bottom surface) of lens 4 on the wafer side of the projection optical system PL. Projection optical system PL has a lens barrel 3 that holds other optical systems and a lens 4, and is constructed so that liquid 7 contacts only lens 4. By doing this, corrosion, etc. of the lens barrel 3 that is made of metal is prevented.

Moreover, projection optical system PL consists of multiple optical elements including lens 4, and lens 4 is fixed so as to be attached and removed (replaced) freely at the very bottom of the lens barrel 3. With this example, the optical element that is closest to wafer W, in other words, that contacts liquid 7, is a lens, but this optical element is not limited to being a lens, and it is also acceptable for it to be an optical plate (plane-parallel plate, etc.) used for adjusting optical characteristics of the projection optical system PL such as aberration (spherical aberration, coma aberration, etc.). Also, due to scattered particles that occur from resist due to irradiation of exposure light or of adhesion of impurities in liquid 7, etc., the surface of the optical element that contacts liquid 7 becomes contaminated, so it is necessary to periodically replace that optical element. However, when the optical element that contacts liquid 7 is a lens, the cost of this replacement part is high, and a long time is required to replace it, and this invites a rise in maintenance costs (running cost) and a decrease in throughput. In light of this, it is also acceptable to have the optical element that contacts liquid 7 be a plane-parallel plate that is less expensive than a lens 4, for example. In this case, at times such as the transport, assembly, and adjustment of the projection exposure apparatus, even if a substance (such as a silicon organic substance) that decreases things like the transmittance of the projection optical system PL, the light intensity of the exposure light on wafer W, or the uniformity of the light intensity distribution adheres to the plane-parallel plate, all that needs to be done is to replace the plane-parallel plate immediately before liquid 7 is supplied, so there is also the advantage that the replacement cost is lower compared to when the optical element that contacts liquid 7 is a lens.

Also, with this example, purified water, for example, can be used as liquid 7. Purified water can be easily obtained in large volumes at a semiconductor manufacturing factory, etc., and it also has the advantage of not having an adverse effect on the photoresist on the wafer or optical lens, etc. Also, purified water not only has no adverse effect on the environment but also contains very little amount impurities, so the effect of its washing the wafer surface and the surface of lens 4 can also be anticipated.

Then, because the refractive index of purified water (water) relative to exposure light of a wavelength of approximately 250 nm is approximately 1.4, the KrF excimer laser light wavelength 248 nm is shortened by  $1/n$ , in other words, shortened to approximately 177 nm, so high resolution can be obtained. Furthermore, compared to in air, the depth of focus is widened by approximately a factor of  $n$ , in other words, approximately by 1.4, so in cases when it would be good as long as the depth of focus equivalent of the one in air can be ensured, it is possible to further increase the numerical aperture of projection optical system PL, and this also improves resolution.

This liquid 7 is supplied in a temperature controlled state onto wafer W via a predetermined discharge nozzle, etc. by liquid supply device 5 consisting of a tank for the liquid, a pressurization pump, and a temperature control device, etc., and using a liquid recovery device 6 consisting of the liquid tank and a suction pump, etc., the liquid is recovered from on wafer W via a predetermined inflow nozzle, etc. The temperature of liquid 7 is set at about the level of the temperature within the chamber in which the projection exposure apparatus of this example is housed, for example. And, a fine-end tip discharge nozzle 21a and two expanded-end inflow nozzles 23a and 23b (see Figure 2) are arranged so as to sandwich the end of lens 4 of projection optical system PL in the X direction, and discharge nozzle 21a is connected to liquid supply device 5 via supply pipe 21 while inflow nozzles 23a and 23b are connected to liquid recovery device 6 via recovery pipe 23. Furthermore, there are also two pairs of discharge nozzles and inflow nozzles arranged so as to sandwich in the Y direction the end of lens 4 and a pair of nozzles placed

at the location where the pair of discharge nozzles 21a and inflow nozzles 23a and 32b would be if it were rotated by about 180°.

Figure 2 shows the positional relationship of the end 4A of lens 4 of projection optical system PL and wafer W of Figure 1, and the two pairs of discharge nozzles and inflow nozzle that sandwich this end 4A in the X direction, and in this Figure 2, discharge nozzle 21a is arranged on the +X direction side of end 4A while inflow nozzles 23a and 23b are arranged on the -X direction side. Also, inflow nozzles 23a and 23b are arranged in a form that opens like a fan in relation to the axis that is parallel to the X axis through the center of end 4A. Then, at the location where the pair of discharge nozzles 21a and inflow nozzles 23a and 23b would be if it were rotated by about 180°, a separate pair of discharge nozzles 22a and inflow nozzles 24a and 24b are arranged with discharge nozzle 22a connected to liquid supply device 5 via supply pipe 22 and inflow nozzles 24a and 24b connected to liquid recovery device 6 via recovery pipe 24.

Also, Figure 3 shows the positional relationship of end 4A of lens 4 of projection optical system PL of Figure 1 and the two pairs of discharge nozzles and inflow nozzles that sandwich this end 4A in the Y direction, and in this Figure 3, discharge nozzle 27a is arranged in the +Y direction side of end 4A, while inflow nozzles 29a and 29b are arranged in the -Y direction side, with discharge nozzle 27a connected to liquid supply device 5 via supply pipe 27 and inflow nozzles 29a and 29b connected to liquid recovery device 6 via recovery pipe 29. Also, a separate pair discharge nozzle 28a and inflow nozzles 29a and 29b are arranged at the location where pair of discharge nozzles 27a and inflow nozzles 29a and 29b would be if it were rotated by about 180°, and discharge nozzle 28a is connected to liquid supply device 5 via supply pipe 28 and inflow nozzles 30a and 30b are connected to liquid recovery device 6 via recovery pipe 30. Liquid supply device 5 supplies temperature-controlled liquid between end 4A of lens 4 and wafer W via at least one of supply pipes 21, 22, 27 and 28, and liquid recovery device 6 recovers that liquid via at least one of recovery pipes 23, 24, 29 and 30.

Next, we will explain the methods for supplying and recovering liquid 7.

In Figure 2, when moving wafer W in steps in the direction of arrow 25A (−X direction) shown by the solid line, liquid supply device 5 supplies liquid 7 between end 4A of lens 4 and wafer W via supply pipe 21 and discharge nozzle 21a. Then, liquid recovery device 6 recovers liquid 7 from on wafer W via recovery pipe 23 and inflow nozzles 23a and 23b. At this time, liquid 7 flows in the direction of arrow 25B (−X direction) on wafer W, and there is stable filling of liquid 7 in between wafer W and lens 4.

Meanwhile, when moving wafer W in steps in the direction of arrow 26A (+X direction) shown by the dot-dash line, liquid supply device 5 supplies liquid 7 between end 4A of lens 4 and wafer W using supply pipe 22 and discharge nozzle 22a, and liquid recovery device 6 recovers liquid 7 using recovery pipe 24 and inflow nozzles 24a and 24b. At this time, liquid 7 flows on wafer W in the direction of arrow 26B (+X direction), and the space between wafer W and lens 4 is filled with liquid 7. In this way, with the projection exposure apparatus of this example, because two pairs of discharge nozzles and inflow nozzles that are reverse to each other in the X direction are provided, even when wafer W moves in either the +X direction or the −X direction, it is possible to continue filling the space between wafer W and lens 4 stably with liquid 7.

Also, because liquid 7 flows over wafer W, even in cases when particles (including scattered particles from the resist) adhere on wafer W, there is the advantage that it is possible to remove the particles by the flow of liquid 7. Also, because liquid 7 is adjusted to a predetermined temperature by liquid supply device 5, temperature of the wafer W surface is adjusted, and this prevents a degradation of overlay accuracy, etc. due to thermal expansion of the wafer due to heat that is generated during exposure. Therefore, even when there is a time difference with alignment and exposure as with alignment using the EGA (enhanced global alignment) method, it is possible to prevent a degradation of overlay accuracy due to thermal expansion of the wafer. Also, with the projection exposure

apparatus of this example, liquid 7 flows in the same direction as the direction that wafer W is moved, so it is possible to recover liquid that has absorbed particles and heat without it pooling on the exposure area directly under end 4A of lens 4.

Also, when moving wafer W in steps in the Y direction, supply and recovery of liquid 7 is done from the Y direction.

Specifically, when moving wafer W in steps in the direction of arrow 31A (–Y direction) shown by the solid line in Figure 3, liquid supply device 5 supplies liquid via supply pipe 27 and discharge nozzle 27a, and liquid recovery device 6 recovers liquid using recovery pipe 29 and inflow nozzles 29a and 29b, and the liquid flows in the direction of arrow 31B (–Y direction) over the exposure area directly under end 4A of lens 4. Also, when moving the wafer in steps in the +Y direction, liquid is supplied and recovered using supply pipe 28, discharge nozzle 28a, recovery pipe 30, and inflow nozzles 30a and 30b, and the liquid flows in the +Y direction over the exposure area directly under end 4A. By doing this, as when wafer W is moving in the X direction, even when wafer W is moving in either the +Y direction or the –Y direction, it is possible to fill the space between wafer W and end 4A of lens 4 with liquid 7.

Moreover, rather than only using nozzles that perform supply and recovery of liquid 7 from the X direction or Y direction, it is also acceptable to provide a nozzle for performing supply and recovery of liquid 7 from a diagonal direction, for example.

Next, we will explain the method of controlling the supply volume and recovery volume of liquid 7.

Figure 4 shows the situation of supply and recovery of liquid 7 to the space between lens 4 of projection optical system PL and wafer W, and in this Figure 4, wafer W moves in the direction of arrow 25A (–X direction), and liquid 7 supplied from discharge nozzle 21a



flows in the direction of arrow 25B (–X direction), with recovery done by inflow nozzles 23a and 23b. In order to keep the volume of liquid 7 that exists between lens 4 and wafer W constant even while wafer W is moving, in this example, the liquid 7 supply volume  $V_i$  ( $m^3/s$ ) and recovery volume  $V_o$  ( $m^3/s$ ) are kept equal, and the liquid 7 supply volume  $V_i$  and recovery volume  $V_o$  are adjusted to be proportional to the moving speed  $v$  of XY stage 10 (wafer W). Specifically, main control system 14 determines supply volume  $V_i$  and recovery volume  $V_o$  of liquid 7 using the formula below.

$$V_i = V_o = D \cdot v \cdot d \quad (3)$$

Here, as shown in Figure 1,  $D$  is the diameter (m) of the end of lens 4,  $v$  is the velocity of the motion (m/s) of XY stage 10, and  $d$  is the working distance (m) of projection optical system PL. The velocity  $v$  when moving XY stage 10 in steps is set by main control system 14, and because  $D$  and  $d$  are input in advance, by adjusting the supply volume  $V_i$  and recovery volume  $V_o$  of liquid 7 using formula (3), the space between lens 4 of Figure 4 and wafer W is always filled with liquid 7.

Moreover, it is preferable to make working distance  $d$  of projection optical system PL as narrow as possible to have stable existence of liquid 7 between projection optical system PL and wafer W. However, if working distance  $d$  is too small, there is the risk of the surface of wafer W contacting lens 4, so it is necessary to keep a certain level of margin. In light of this, working distance  $d$  is set at about 2 mm as an example. Working distance  $d$  is short as shown here, so even if the transmittance of liquid 7 relative to the exposure light is low to some extent, the amount of the exposure light absorbed is very small.

Next, we will explain a second embodiment of the present invention while referring to Figures 5 through 7. This example applies the present invention when exposure is done using a step-and-scan method projection exposure apparatus.

Figure 5 is a front view that shows the bottom of the projection optical system PLA, liquid supply device 5, and liquid recovery device 6, etc. of the projection exposure apparatus of this example, and in Figure 5 that shows the same code numbers for parts that correspond to this Figure 4, lens 32 at the bottom end of lens barrel 3A of projection optical system PLA is ground to a long, thin rectangle in the Y direction (non scanning direction) leaving end 32A only for the amount necessary for scanning exposure. During scanning exposure, the pattern image of part of the reticle is projected on the rectangular exposure area directly under end 32A, and in synchronization with the motion at velocity V of the reticle (not illustrated) in the -X direction (or the +X direction) relative to projection optical system PLA, wafer W moves at speed  $\beta \cdot V$  ( $\beta$  is the projection magnification) in the +X direction (or -X direction) via XY stage 10. Then, after exposure on one shot area ends, with the stepping of wafer W, the next shot area moves to the scan start position, and thereafter exposure is done in sequence to each shot area using the step-and-scan method.

With this example as well, through use of the liquid immersion method during scanning exposure, the space between lens 32 and the surface of wafer W is filled with liquid 7. Supply and recovery of liquid 7 is performed respectively by liquid supply device 5 and liquid recovery device 6.

Figure 6 shows the positional relationship of end 32A of lens 32 of projection optical system PLA and the discharge and inflow nozzles for supplying and recovering liquid 7 in the X direction, and in Figure 6, the shape of end 32A of lens 32 is long, thin and rectangular in the Y direction, and three discharge nozzles 21a to 21c are arranged on the +X direction side and two inflow nozzles 23a and 23b are arranged on the -X direction side so that they sandwich end 32A of lens 32 of projection optical system PLA in the X direction.

Also, discharge nozzles 21a to 21c are connected to liquid supply device 5 via supply pipe 21, and inflow nozzles 23a and 23b are connected to liquid recovery device 6

via recovery pipe 23. Discharge nozzles 22a to 22c and inflow nozzles 24a and 24b are arranged at the locations where discharge nozzles 21a to 21c and inflow nozzles 23a and 23b would be if they were rotated by about 180°. Discharge nozzles 21a to 21c and inflow nozzles 24a and 24b are aligned alternately in the Y direction, discharge nozzles 22a to 22c and inflow nozzles 23a and 23b are aligned alternately in the Y direction, and discharge nozzles 22a to 22c are connected to liquid supply device 5 via supply pipe 22 while inflow nozzles 24a and 24b are connected to liquid recovery device 6 via recovery pipe 24.

Then, when performing scanning exposure by moving wafer W in the scan direction shown by the solid line arrow (−X direction), supply and recovery of liquid 7 is performed by liquid supply device 5 and liquid recovery device 6 using supply pipe 21, discharge nozzles 21a to 21c, recovery pipe 23, and inflow nozzles 23a and 23b and liquid 7 is passed in the −X direction so as to fill in between lens 32 and wafer W. Also, when performing scanning exposure by moving wafer W in the direction shown by the dot-dash arrow (+X direction), supply and recovery of liquid 7 is performed using supply pipe 22, discharge nozzles 22a to 22c, recovery pipe 24, and inflow nozzles 24a and 24b, and liquid 7 is passed in the +X direction so as to fill in between lens 32 and wafer W. By switching the direction liquid 7 flows according to the scan direction, when scanning wafer W in either the +X direction or the −X direction, it is possible to fill the space between end 32A of lens 32 and wafer W with liquid 7, and to obtain high resolution and wide depth of focus.

Also, the supply volume  $V_i$  (m<sup>3</sup>/s) and recovery volume  $V_o$  (m<sup>3</sup>/s) of liquid 7 are determined using the formula below.

$$V_i = V_o = D_{SY} \cdot v \cdot d \quad (4)$$

Here,  $D_{SY}$  is the length (m) of end 32A of lens 32 in the X direction. By doing this, it is possible to stably fill the space between lens 32 and wafer W with liquid 7 even during scanning exposure.

Moreover, the number or shape of nozzles is not specifically restricted, and it is acceptable, for example, to perform supply and recovery of liquid 7 using two pairs of nozzles in the length direction of end 32A. Also, in this case, it is also acceptable to arrange the discharge nozzles and inflow nozzles lined up vertically to be able to perform supply and recovery of liquid 7 from either the +X direction or the -X direction.

Also, when moving the wafer W in steps in the Y direction, as with the first embodiment, supply and recovery of liquid 7 is performed from the Y direction.

Figure 7 shows the positional relationship of end 32A of lens 32 of projection optical system PLA and the discharge nozzles and inflow nozzles for the Y direction, and in this Figure 7, when moving the wafer in steps in the non scan direction (-Y direction) that is orthogonal to the wafer scan direction, supply and recovery of liquid 7 is performed using discharge nozzle 27a and inflow nozzles 29a and 29b aligned in the Y direction, and when moving the wafer in steps in the +Y direction, supply and recovery of liquid 7 is performed using discharge nozzle 28a and inflow nozzles 30a and 30b aligned in the Y direction. Also, the supply volume  $V_i$  ( $m^3/s$ ) and recovery volume  $V_o$  ( $m^3/s$ ) of liquid 7 are determined using the formula below.

$$V_i = V_o = D_{sx} \cdot v \cdot d \quad (5)$$

Here,  $D_{sx}$  is the length (m) of end 32A of lens 32 in the Y direction. As with the first embodiment, by adjusting the supply volume of liquid 7 according to the velocity of the motion  $v$  of wafer W when moving in steps in the Y direction, it is possible to continuously fill the space between lens 32 and wafer W with liquid 7.

When moving wafer W as described above, by passing liquid in the direction according to the direction of motion, it is possible to continuously fill the space between wafer W and the end of the projection optical system P1 with liquid 7.

Moreover, the liquid used for liquid 7 for the embodiment noted above is not specifically restricted to purified water, and it is also possible to use an item (e.g. cedar oil, etc.) that has the highest refractive index possible while still having transmittance for the exposure light and that is stable relative to the projection optical system and the photoresist coated on the wafer surface.

Also, as liquid 7, it is also possible to use a liquid that is chemically stable, in other words, a fluorinated inert liquid that is safe and has high transmittance relative to exposure light. As this fluorinated inert liquid, it is possible to use Fluorinert (U.S. 3M Co. product name), for example. This fluorinated inert liquid is also excellent in terms of its cooling effect.

It is also possible to recycle recovered liquid 7 with each of the previously described embodiments, and in this case, it is preferable to provide a filter that removes impurities from recovered liquid 7 on the liquid recovery device or the recovery pipe, etc.

Furthermore, the scope of flow of liquid 7 only needs to be set to cover the entire area of the reticle pattern image projection area (exposure light irradiation area), and this can be any size, but it is preferable to have it be slightly larger than the exposure area as described with each of the embodiments noted above yet as small as possible for the purpose of controlling the flow velocity and flow rate. Also, it is difficult to recover all the supplied liquid with an inflow nozzle, so it is preferable to form a dividing wall that encloses the wafer, for example, so that liquid does not overflow from above the Z stage, and to further provide a pipe for recovering liquid from within this dividing wall.

Also, with each of the embodiments described above, liquid 7 was passed along the direction of motion of wafer W (XY stage 10), but it is not necessary to match the liquid 7 flow direction and this direction of the motion. Specifically, it is also acceptable to have the liquid 7 flow direction and the direction of the motion intersect, for example when wafer W is moving in the +X direction, liquid 7 can be passed in the direction where the velocity component of liquid 7 in the -X direction is either 0 or below a predetermined tolerance. By doing this, when a wafer is exposed using the step-and-repeat method or the step-and-scan method (both including the step-and-stitch method), even if the direction of motion changes frequently in a short time (for example a few hundred ms), it is possible to control the direction a fluid is passed to follow this, and to fill the space between the projection optical system and the wafer with the liquid. Also, in a step-and-scan method projection exposure apparatus, the motion of the XY stage is controlled so that when the wafer is moving between shot areas, the velocity components of both in the scan direction and non scan direction of the XY stage do not become zero, specifically, after scanning exposure within one shot area is completed and during deceleration of the XY stage (before the velocity component in the scan direction becomes zero), stepping (motion in the non scan direction) of the XY stage is started, and before this stepping ends (before the velocity component in the non scan direction becomes zero, and for example during deceleration of the XY stage), XY stage acceleration starts for scanning exposure of the next shot area. In this kind of case as well, the liquid flow direction is controlled according to the direction of the wafer motion, and it is possible to fill the space between the projection optical system and the wafer with a liquid.

Moreover, the application of the projection exposure apparatus of this example is not limited to a projection exposure apparatus for semiconductor manufacturing, and for example can be widely used for projection exposure apparatuses for liquid crystal that exposes a liquid crystal display device pattern on a square shaped glass plate or for a projection exposure apparatus for manufacturing thin film magnetic heads, for example.

Also, there are cases where reticles or masks used in exposure apparatuses for manufacturing devices that manufacture semiconductor devices, etc. are manufactured by exposure apparatuses that use far ultraviolet rays or vacuum ultraviolet rays, and the projection exposure apparatuses of each of the embodiments described above can also be suitably used for photolithography processes for manufacturing reticles and masks.

Furthermore, it is also acceptable to use a higher harmonic wave by amplifying a single wavelength laser of the infrared area or visible range oscillated from a fiber laser or a DFB laser as the illumination light for exposure using a fiber amplifier doped with erbium (Er), for example (or both erbium and ytterbium (Yb)), and by converting the wavelength to that of the ultraviolet light by using a non-linear optical crystal.

Also, projection optical system PL could be either a dioptric system or a cataoptric system or a catadioptric system. As a catadioptric system, as disclosed in U.S. Patent No. 5788229, for example, it is possible to use an optical system in which plurality of dioptric elements and two cataoptric elements (at least one being a concave mirror) are arranged on the optical axis extending in a straight line without any folding. In the exposure apparatus that has the catadioptric system disclosed in this U.S. patent, the optical element that is closest to the wafer, in other words that contacts the liquid, is a cataoptric element. Also, the disclosure of this U.S. patent is noted in part in this document by reference only as allowed by the domestic laws of predetermined countries or among selected countries predetermined or selected in this international application.

Also, by incorporating an illumination optics and projection optical system consisting of plurality of lenses in the main unit of the exposure apparatus and adjusting the optics, and also mounting a reticle stage and wafer stage comprising many mechanical parts in the main unit of the exposure apparatus and connecting wiring and pipes, and by providing the pipes for performing liquid supply and recovery (supply pipes, discharge nozzles, etc.), and by further making overall adjustments (electrical adjustments, motion

checks, etc.), it is possible to manufacture the projection exposure apparatus of this embodiment. It is also preferable to manufacture the projection exposure apparatus in a clean room where the temperature and degree of cleanliness, etc. are controlled.

Then, a semiconductor device is manufactured by going through a step of performing device function and performance design, a step of manufacturing a reticle based on that step, a step of producing a wafer from a silicon material, a step of exposing a wafer with a reticle pattern using a projection exposure apparatus of the embodiment described above, a step of assembling the device (including the dicing process, bonding process, and packaging process), and an inspection step, etc.

Also, the present invention is not limited to the embodiments noted above, and it is possible to use a variety of structures in a range that do not stray from the gist of the present invention. Furthermore, all the disclosed contents of Japanese Patent Application No. 10-79263 submitted on March 26, 1998 including the specification, claims, figures, and abstract are cited verbatim and incorporated here.

#### Industrial Uses

With the first and second projection exposure methods of the present invention, a liquid immersion method is used, so it is possible to expand the depth of focus of the mask pattern image by approximately a factor of  $n$  ( $n$  is the refractive index of the liquid used) of the depth of focus in air, and it is possible to do a stable transfer of a detailed pattern at high resolution. Therefore, it is possible to mass-produce high integration semiconductor devices, etc. at high yields. Also, when moving the substrate along a predetermined direction, because the liquid is passed along the direction of the motion of the substrate so as to fill the space between the end of the optical element on the substrate side of the projection optical system and the surface of the substrate, even when moving the substrate, the space between the end of the projection optical system and the surface of the substrate can be



filled with the liquid, and the liquid immersion method can be used. When particles have adhered to that substrate, it is possible to flush out the particles that have adhered on the substrate, so there is the advantage of being able to try to increase the final product yield.

Next, with the first and second projection exposure apparatuses of the present invention, it is possible to implement the first and second projection exposure methods of the present invention. Also, when adjusting the liquid supply volume and recovery volume (flow rate) according to the velocity of the motion of the substrate stage, even if the velocity of the motion of the stage changes, it is possible to keep the volume of the liquid that exists between the end of the projection optical system and the surface of the substrate constant.

## Claims

1. A projection exposure method that irradiates exposure beams on a mask and transfers the pattern of said mask onto a substrate via a projection optical system, wherein

when said substrate is moved along a predetermined direction, a predetermined liquid is passed along the direction of the motion of said substrate so as to fill the space between the end of the optical element on said substrate side of said projection optical system and the surface of said substrate.

2. A projection exposure apparatus that irradiates exposure beams on a mask and transfers the pattern of said mask onto a substrate via a projection optical system,

comprising a substrate stage that moves while holding said substrate, a liquid supply device that supplies a predetermined liquid along a predetermined direction via pipes for supply so as to fill the space between the end of the optical element of said substrate side of said projection optical system and the surface of said substrate, and a liquid recovery device that recovers said liquid from the surface of said substrate via said supply pipes and pipes for discharge arranged so as to sandwich the irradiation area of said exposure beams in said predetermined direction, and wherein

when said substrate stage is driven to move said substrate along said predetermined direction, supply and recovery of said liquid is performed.

3. The projection exposure apparatus of claim 2 provided with a second pair of supply pipes and discharge pipes arranged at the location where said pair of supply pipes and discharge pipes would be if they were essentially rotated by 180 °.

4. The projection exposure apparatus of claim 2 or 3 wherein

said projection exposure apparatus is a scanning exposure type that performs exposure by moving the mask and substrate synchronously in relation to said projection optical system, and said predetermined direction is the scan direction of said substrate during scanning exposure.

5. The projection exposure apparatus of claim 2, 3 or 4 wherein

one pair of supply pipes and discharge pipes are arranged corresponding to said pair of supply pipes and discharge pipes in a direction orthogonal to said predetermined direction, or two pairs of supply pipes and discharge pipes are provided in reverse to each other.

6. The projection exposure apparatus of any of claims 2 through 5,

having a control system that adjusts the supply volume and recovery volume of said liquid according to the movement speed of said substrate stage.

7. The projection exposure apparatus of any of claims 2 through 6 wherein

said liquid supplied to the surface of said substrate is purified water adjusted to a predetermined temperature or is a fluorinated inert liquid.

8. A projection exposure apparatus manufacturing method wherein

an illumination optics that irradiates exposure beams on a mask, a projection optical system that transfers the pattern image of said mask onto a substrate, a substrate stage that holds said substrate and moves, a liquid supply device that supplies a predetermined liquid along a predetermined direction via supply pipes so as to fill the space

between the end of the optical element on said substrate side of said projection optical system and the surface of said substrate, and a liquid recovery device that recovers said liquid from the surface of said substrate via discharge pipes arranged together with said supply pipes so as to sandwich said exposure beam irradiation area in said predetermined direction are all assembled in a predetermined positional relationship.

9. A device manufacturing method using the projection exposure method of claim 1, including an exposure process by which the mask is irradiated by an exposure beam and said mask pattern is transferred onto a substrate via a projection optical system, and with said exposure process, when said substrate is moved along a predetermined direction, a predetermined liquid is passed along the direction of the motion of said substrate so as to fill the space between the end of the optical element on said substrate side of said projection optical system and the surface of said substrate.

10. A projection exposure method that irradiates a mask with an exposure beam and exposes a substrate with said exposure beam via a projection optical system, wherein a liquid is passed so as to fill the space between said projection optical system and said substrate and the direction of the flow of said liquid is changed according to the direction of the motion of said substrate.

11. The projection exposure method of claim 10 wherein when the supply speed of said liquid is divided into a first component in the direction of the motion of said substrate and a second component that is orthogonal to said direction of the motion, when said first component is in the reverse direction to the direction of the motion of said substrate, said liquid is passed in the manner that the first component is at a predetermined tolerance value or less.

12. The projection exposure method of claim 10 wherein

said liquid is passed in the same direction almost along the direction of the motion of said substrate.

13. The projection exposure method of claim 12 wherein

said substrate is exposed by the step-and-repeat method or the step-and-scan method, and said liquid flows almost along the stepping direction of said substrate.

14. The projection exposure method of claim 12 or 13 wherein

said mask and said substrate are respectively moved relative to said exposure beam, and while said substrate undergoes scanning exposure by said exposure beam, during said scanning exposure, said liquid flows almost along the scan direction of said substrate.

15. The projection exposure method of any of claims 10 through 14 wherein

the flow rate of said liquid is adjusted according to the speed of the motion of said substrate.

16. A device manufacturing method using the projection exposure method of any of claims 10 through 15 that includes a lithographic process that has a process of transferring a device pattern onto a substrate.

17. A projection exposure apparatus that irradiates a mask using an exposure beam and that transfers using said exposure beam onto a substrate via a projection optical system, and having

a liquid supply device that flows liquid so as to fill in the space between said projection optical system and said substrate, and that changes the direction of the flow of said liquid according to the direction of the motion of said substrate.

18. The projection exposure apparatus of claim 17 wherein

when the supply speed of said liquid is divided into a first component in the direction of the motion of said substrate and a second component orthogonal to said direction of the motion, said liquid supply device flows said liquid so that said first component becomes a predetermined tolerance value or less when said first component is in the reverse direction to the direction of the motion of said substrate.

19. The projection exposure apparatus of claim 18 wherein

said substrate is exposed by the step-and-repeat method or the step-and-scan method, and said liquid supply device flows said liquid almost along the stepping direction of said substrate.

20. The projection exposure apparatus of any of claims 17 through 19 further comprising

a stage system that moves said mask and said substrate respectively relative to said exposure beam, and said liquid supply device flows said liquid almost along the direction of the motion of said substrate during said substrate scanning exposure.

21. The projection exposure apparatus of any of claims 17 through 20 further comprising

a liquid recovery device that recovers liquid supplied to between said projection optical system and said substrate.

22. The projection exposure apparatus of claim 21 wherein

the supply port of said liquid supply device and the recovery port of said liquid recovery device are arranged so as to sandwich said exposure beam irradiation area.

Figures:

Fig. 5: Scan direction

Fig. 6: Scan direction, scan direction

Fig. 7: Scan direction